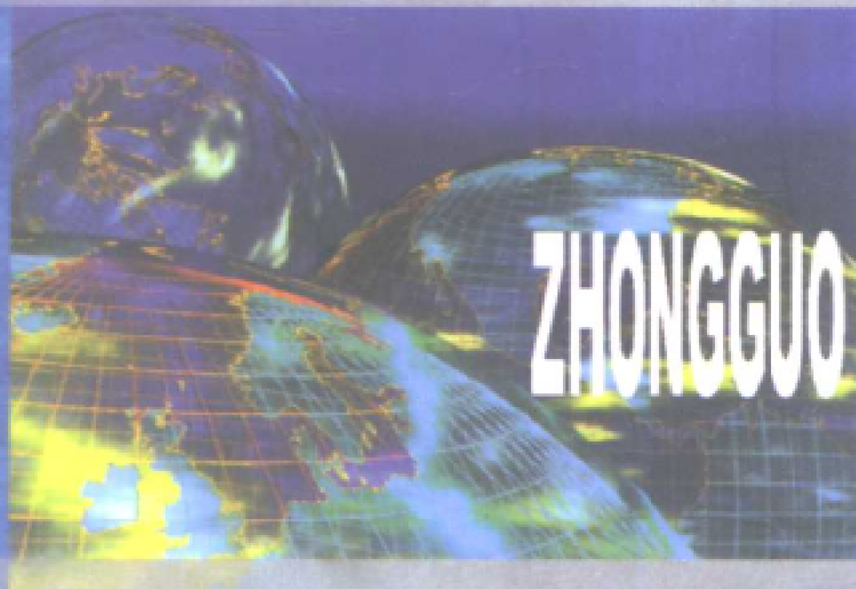
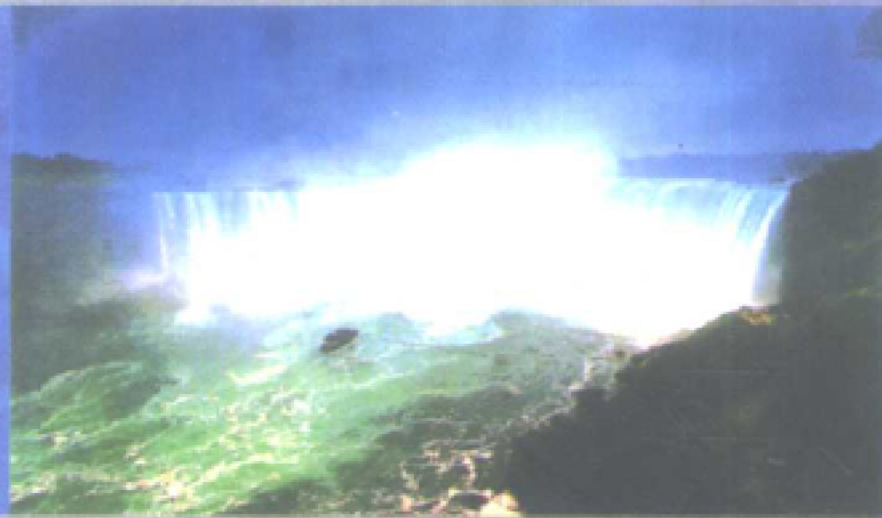
中国煤田水文地质学

■中国煤田地质总局 编著





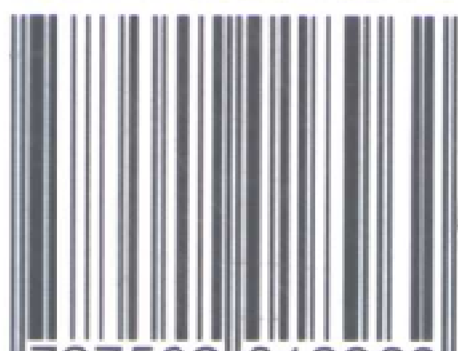
ZHONGGUO MEITIAN SHUIWEN DIZHIXUE



煤炭工业出版社

责任编辑：牟金锁
马淑敏
封面设计：晓　杰

ZHONGGUO MEITIAN SHUIWEN DIZHIXUE



ISBN 7-5020-1896-4/P641.4
社内编号:4667　定价：80.00元

中国煤田水文地质学

中国煤田地质总局 编著

葛亮涛 叶贵钧 高洪烈 主编

煤 炭 工 业 出 版 社

内 容 提 要

《中国煤田水文地质学》首次比较全面和系统地研究了中国煤田水文地质条件的基本特征，研究了中国煤田水文地质的一些基本规律，总结提炼了中国煤田水文地质的主要工作经验。全书共十章，包括中国煤田水文地质概论，控制中国煤田水文地质条件的基本因素，煤矿床充水特征，煤田地下水的化学特征，顶板水害研究与防治，底板突水的预测与防治，煤矿热害和地下热水，中国煤田水文地质条件分类，煤矿环境地质问题，煤田水文地质勘探的若干问题等。

本书可供煤田地质、水文地质、矿床水文地质工作人员，矿业院校、地质院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国煤田水文地质学/中国煤田地质总局编著．－北京：煤炭工业出版社，2000

ISBN 7－5020－1896－4

Ⅰ．中…Ⅱ．中…Ⅲ．煤田－水文地质－研究－中国 Ⅳ．P641.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 20191 号

中国煤田水文地质学

中国煤田地质总局　编著

责任编辑：牟金锁　马淑敏

煤炭工业出版社　出版发行

(北京市朝阳区芍药居 35 号　100029)

中国煤炭地质制图印刷厂　印刷

*

开本 787×1092mm 1/16　印张 34 1/4　插页 2

字数 818 千字　印数 1—1,200

2001 年 7 月第 1 版　2001 年 7 月第 1 次印刷

社内编号 4667　定价 80.00 元

前　言

我国是一个煤炭资源大国，煤炭资源量居世界前列；也是一个产煤大国，煤炭产量居世界第一；同时，我国也是一个以煤炭为最主要能源的国家，而且此种格局在很长时间内不会有明显的变化。煤炭工业在我国的国民经济和人民生活中一直占有相当重要的地位，煤炭工业的健康持续发展是我国国民经济可持续发展的必要保证。

我国煤矿开发历史悠久，地域广阔，水文地质条件多种多样，有许多水文地质条件复杂的矿井。矿井水害是我国煤矿开采中经常出现的重要地质灾害，常常是制约矿井生产和效益的重要因素，也一直是煤田地质、矿井设计，基建和生产单位所共同关心的问题。在我国煤田勘探中，始终对矿床水文地质条件十分重视，作为煤田地质工作的基本内容，历年来投入工作量之多，研究程度之深，研究领域之广，实为世界各国煤矿床勘探和开发中所罕见，所积累的大量的第一手资料和丰富的工作经验，为编写《中国煤田水文地质学》奠定了扎实的基础。总结、提炼煤田水文地质工作经验，总结煤田水文地质规律，无疑对于指导今后煤田水文地质勘探工作，提高煤矿防治水工作的经济技术效益，以及向世界各国交流，均有积极意义。

《中国煤田水文地质学》是煤炭工业出版社的重点图书。该书初稿完成后，由煤炭工业出版社组织，于 1993 年 10 月在邯郸召开了审稿会，参加审稿会议的有中科院院士贾福海、地矿部地质环境司原总工程师辛奎德以及王子和、林曾平、夏镛华等专家、教授十多人。会议对书稿进行了认真地审议，提出了许多极为宝贵的修改意见，提高了书稿的质量。

全书共分十章。其中，葛亮涛编写了第一章中国煤田水文地质概论；第五章煤矿顶板水害的研究与防治；第六章煤矿底板突水的预测与防治；第十章煤田水文地质勘探的若干问题（其中，葛晓云编写了第十章第四节）。叶贵钧编写了第二章控制中国煤田水文地质条件的基本因素；第八章中国煤田水文地质条件分类。高洪烈编写了绪论；第三章煤矿床充水特征；第四章煤田地下水的水化学特征；第七章煤矿热害和煤田地下热水；第九章煤矿环境地质问题。由葛亮涛提供全书框架设计及章节提纲，并进行最后修改和定稿。

本书资料翔实，内容丰富，许多来自于煤田地质系统的各类地质报告、中间资料及科研成果，这些资料对于本书的完成是至关重要的。我们对广大煤田水文地质工作者的辛勤劳动表示赞赏，同时感谢他们对本书的支持与贡献。由于本书成书周期较长，所列举的参考文献中亦可能有疏漏之处，敬请见谅。

本书的编写，得到中国煤田地质总局领导和有关处室的支持、关心和爱护，在此谨向他们表示衷心感谢。

目　　录

绪　　论

中国煤田水文地质学是研究中国煤田水文地质条件、特征、规律，用以指导煤田勘探和开发实践的科学。它是在中国特有的复杂而多样的煤田水文地质条件下，大规模的煤炭工业建设，众多而复杂的煤田水文地质问题，长时间与地下水作斗争的经验积累的背景下，所形成的一门新兴科学。是一门理论性与实用性均很强并偏重于实用的科学。

中国煤田水文地质学是在水文地质及地质学的基础上形成的涉及多学科的边缘科学。它与中国煤田地质学关系密切，是一对孪生姊妹科学。它与构造地质学、地层学、矿床学、沉积岩石学、地史学、地球化学、水化学、地下水动力学、专门水文地质学、工程地质学、地热学、水文学、地貌学、气象学、物理学、数学以及采矿学等诸多学科有密切的联系，它借助于各种相关学科的基本理论和方法，同时也形成了自身的特点。煤田构造、地层、地质发展史是研究煤田水文地质条件的基础，水文、气象、地貌条件是研究煤田地下水形成的必不可少的基础资料；地球化学、水化学、岩石矿物学、地下水的补给、径流、排泄条件是研究矿区水化学场所必须考虑的；区域地热背景及地质、水文地质条件是研究煤矿区地热场及和煤田地下热水的前提条件；数学、物理学方法是中国煤田水文地质学的重要研究手段。中国煤田水文地质学主要的目的之一是服务于中国煤炭工业的发展，许多煤田水文地质问题必须结合煤矿建设的需要，结合矿山的开拓方案，这使得采矿学和中国煤田水文地质学有不可分割的联系。

一、中国煤田水文地质学研究的目的和意义

中国煤炭工业在整个国民经济中占有非常重要的地位，煤炭在一次能源生产和消费结构中长期占 70% 以上，以煤炭为主要能源的局面在今后相当长的时间内不会有根本性的变化，工农业生产和人民生活都与煤炭工业有密切的关系。煤炭工业的可持续发展是我国社会发展和经济建设的必不可少的条件。中国是一个产煤的大国，煤炭产量居世界前列。中国煤炭储量丰富，根据中国煤田地质总局 1998 年完成的煤田预测，2000m 以浅资源总量达 5.5万亿 t，其中深度 1000m 内的 2.8 万亿 t，煤炭资源总量仅次于苏联，居世界第二位，而且煤种也比较齐全，煤炭工业的发展潜力较大。中国的现代化建设需要煤炭工业的健康发展，而中国的丰富的煤炭资源和现有的煤炭生产基础也为煤炭工业的可持续发展提供了有利的条件，煤炭工业将继续在国民经济中发挥作用，作出贡献。

煤矿的开发，有四个方面的基本情况是必须查清的，这就是煤质、储量和开采技术条件及煤矿开发的环境影响和环境保护。只有查清了这四个方面的基本内容，煤矿才能开始设计和建设。矿床水文地质条件是矿床开采技术条件中最重要的内容之一。地下水常成为煤矿安全生产的威胁；矿坑水量的大小和矿床水文地质条件的复杂程度，往往是许多矿区矿床能否开采，开采在技术经济上是否合理的关键因素；矿床水文地质条件也是影响矿山开发强度、开采方法的重要因素；不良的水文地质条件常常使井下的工作条件恶化，从而

影响矿井的正常开采；矿床水文地质条件也影响着矿山工程地质条件及地热场，是防治不良工程地质问题及矿井热害措施中应该考虑的重要因素；地下水的合理保护和利用常常是矿区环境保护的核心问题之一。总之，要开发煤矿床，就必须研究矿床水文地质条件，只有查清了矿床水文地质条件，煤矿床才有可能进行合理地开采；只有查清了矿床水文地质条件，才有可能有效地防治矿山水害的发生，采用合理的防、排、治理和综合利用地下水的措施，取得较好的经济技术效益。

我国煤田分布地域很广，煤田水文地质条件复杂，类型多样。不论从受水威胁的煤炭储量上，还是受水威胁的严重程度上以及防、治水的难度上，都是世界上少有的。

华北石炭二叠纪聚煤区，东起徐州、淄博，西至陕西渭北，北起辽宁南部，南至平顶山矿区，许多煤层都受到奥陶－寒武系灰岩岩溶水的威胁，特别是焦作、峰峰、邯郸、邢台、开滦、淄博、肥城、鹤壁、霍县等矿区水文地质条件尤为复杂，其矿区排水量之大在世界上也属罕见之列。在我国南方，一些二叠煤系的主要矿区，如涟邵、南桐、天府、合山、丰城、煤炭坝等，常受到底部茅口灰岩、顶部长兴灰岩地下水的威胁，对正常开采造成危害并成为制约煤炭开发和煤矿效益的关键因素之一。严重影响生产的接续，峰峰、焦作、邢台、井陉、淄博、肥城、韩城这些矿区受水威胁的煤炭储量占矿井储量的 45% 以上。

我国不仅有许多水文地质条件复杂的岩溶大水矿床，而且有一些矿床水文地质条件复杂、水量较大的孔隙充水和裂隙充水的矿床（区）；不仅地下水经常威胁着煤矿床的开采，而且地表水、大气降水也可能构成对矿井正常开采和安全生产的威胁。一些矿区，也可能因为多年不遇的暴雨造成淹井事故或给生产带来很多困难；另一些矿区，第四系覆盖层含水丰富，直接影响到矿床的开采。

我国老矿区面临着许多水文地质问题，许多矿区受水威胁的煤炭资源亟待解放，矿床地下水亟待综合利用和治理。长期以来，已经作了不少水文地质工作，尤其是在近些年来在一些大水矿区防治水工作方面，采用了排供结合、疏水降压与利用隔水层带压开采相结合、堵截矿坑补给水源、加大矿井排水能力、加强矿井探水、防水能力，因地制宜地采取了综合治理方法，取得了较大的成绩，解放了部分受水威胁的煤炭储量，在淄博、肥城、徐州、峰峰、淮南、焦作、邢台、鹤壁等矿区都采出了直接受水威胁的大量的煤炭资源。尽管如此，我国煤矿突水和淹井事故仍是很突出的。据初步统计， 1955～1985 年内全国共发生淹井 218 次，突水 769 次。从 80 年代以来与 50 的年代相比，矿井突水和淹井次数和水量都有大幅度的增长。而且随着矿井开采规模和深度的增大，问题常会更为复杂。例如，开滦矿区底部可采煤层距奥陶系灰岩的间距在 140～160m，一般情况下奥陶系灰岩水不对煤矿的开采构成威胁，但是 1984 年在范各庄矿开采 9 号煤层时却遇到岩溶陷落柱而产生特大突水淹井，最大突水量竟达 2053t/min 之多，成为世界矿井突水量之冠，这说明随着煤炭工业的发展对煤矿床水文地质工作的要求会越来越高。由于矿井井型增大，淹井所造成的损失也将增大，做好矿井防治水工作的重要性也越大。

在我国一些老的生产矿井中所暴露出来的许多水文地质问题，在新的矿区中也会遇到，今后，在矿山开采中还会遇到一些新的问题，矿区的环境一水文地质保护问题，矿区地下水的综合开发利用问题将会日益突出。干旱、半干旱矿区地下水资源的保护和合理利用更为重要，一些地区因为水源缺乏将可能影响到矿床能否开发和矿区开发的速度和规

模。由于矿井排水量增大，而且还将继续增大，人们不能不考虑到矿床地下水的综合利用。矿井排水将地下水提升到地面，使其利用常具有经济合理的前提，目前世界上一些主要产煤国家对矿床地下水的综合利用都相当重视，大量利用矿床地下水作供水水源。矿坑水大量地用之于选煤、水力运输、水采、水力充填、空气调节（热泵系统）、灭尘、防火、灌溉等。在我国开滦、淄博、峰峰、焦作、淮南、淮北（以下简称两淮）、徐州等许多矿区均开展了地下水的综合利用工作，取得了较好的经济效益。

从我国煤炭工业的发展战略上来看，煤田水文地质工作的重要性日益突出。我国的煤炭资源东少西多，而东部煤炭需求量很大，供需间的矛盾日趋尖锐，东部目前开发强度大，煤炭资源相对紧缺，煤炭建设的重心逐步西移是煤炭工业持续发展的需要，稳住东部，加强开发西部特别是晋陕蒙地区是今后煤炭工业发展的一条重要方针。要实现这种战略布局，煤田水文地质工作面临比较艰巨的任务，要依靠科学技术进步，中国煤田水文地质学的研究将在解决以下主要问题方面有重要意义和作用：

1. 解放我国东部受水威胁的煤炭资源

我国东部地区煤田地质勘探起步早，煤炭资源的查明程度较高，不仅可供建设新井的储量不足，而且可供进一步勘探的储量也不足，找煤工作的难度也大，资源条件已限制了东部地区煤炭工业的进一步发展。要稳住东部煤炭产量，除了大力加强找煤工作，寻找可供建井的煤炭资源之外，提高资源的回收率，解放受水威胁的煤炭资源是一项特别重要的措施。北方石炭二叠煤系是我国最主要的含煤岩系之一，其预测储量占全国预测储量的26%，保有储量4097亿t，占全国保有储量的53.8%，石炭二叠纪煤系主要分布在华北、华东及陕北等地区，我国许多重要的矿区都开采石炭二叠纪煤系，但石炭二叠纪煤田中下组煤的开采普遍受到底部岩溶水的威胁，北方一些主要煤矿区，受岩溶水威胁的煤炭资源达160亿t以上，仅河北、河南、山东、江苏、安徽及渭北等地区，矿井占用储量384.5亿t中受水威胁的煤炭储量达149.71亿t，占37%，这些受水威胁的矿井战略地位重要，产量也大，其中一些老矿区或矿井下组煤的开采问题不解决，矿井的接续或稳产就没有出路，例如，肥城、焦作、邯郸、鹤壁、澄合、韩城等矿区；一些新区（井），例如，元北、济宁二号、龙王庄、新郑、黄河北等底板岩溶水，如果得不到有效的防治，亦将危及正常开发；为了避免水害，一些矿井只采上组煤而不采下组煤，只采好采的煤质好的含硫低的上组煤，其结果势必给我国东部一些矿区今后的采矿工作背上沉重的包袱。此外，由于开采深度的增加、底板水头压力增大等原因，一些原来没有底板岩溶水害的矿区也将相继出现水害，例如，山西的许多矿区，如果不“未雨绸缪”则会影响今后煤炭工业的正常发展。

除了北方底板岩溶水害之外，南方的岩溶水害问题也比较突出，二叠纪龙潭煤系是南方的主要含煤地层，其保有储量虽然只占全国的4.6%左右，但是对当地的国民经济建设有重大的作用，有明显的地理优势，是煤炭工业的协调发展的一个重要部分，其中，许多矿区龙潭煤组受到阳新灰岩底板水的威胁，例如，川中、川东、湘中等或长兴灰岩顶板岩溶水威胁，例如，赣中一些矿区，也应给予重视。

我国东部还有许多新生界下的隐伏煤田，煤层多而倾角缓，以往开采浅部煤层时，多采用留露头防水煤柱的办法，煤柱高度约60～80m，仅露头煤柱压煤在我国东部地区可达50亿t左右，如能将这些煤炭储量解放出一部分或大部分，对于提高生产矿井效益和缓

解东部地区煤炭资源不足均有重要作用，据现有资料分析研究，这种可能性是完全存在的，可以通过加大矿井排水能力、缩小煤柱尺寸、采区疏干等综合办法解决，但首先得作好水文地质工作，查明条件。

2. 尽早开展西部矿区的水资源工作，及时作出水资源规划

我国水资源的人均占有量仅为世界人均值的 1/4，而且分布不均一，和煤炭资源的分布很不协调，我国西部的一些重要煤田多处于干旱半干旱的缺水地区，这就使得水资源条件不可避免地成为开发西部煤田的重要制约因素。开发西部煤田，不仅要作好煤炭资源的准备，而且还要作好水资源的准备，在某种意义上讲后者更具有紧迫性。例如，山西省是我国煤炭工业发展的重要地区，预计全省水资源总量约为 142 亿 m^3，但现在已经开发利用达 61亿 m^3，利用率达 43%，是全国最高的省区之一。当前情况下，主要矿区如大同、阳泉、西山等用水尚感严重不足，今后开发新区，加大开发强度，许多矿区的供水问题将更为突出，拟重点发展的东胜矿区供水水源困难；神木矿区虽然水资源条件较东胜为好，但矿区长期发展所需水资源亦未落实；灵武、彬长、华亭、鸳鸯糊等也均面临水源不足的状态。从长远来看，西部地区煤矿发展不仅缺水，而且必然也存在和工农业争水的问题，一些矿区虽然位于工农业发展水平很低，人口稀少的地区，但煤矿区的建设必然促进当地工农业的发展和人民生活水平的提高，使得对水资源的需求量迅速增加，这就要求对矿区和当地国民经济的发展用水作出通盘的规划，做好矿井水资源化工作，对矿区大气降水、地表水和地下水进行综合利用的煤田水文地质工作有特别重大的作用。

不仅我国北方，即使在我国南方贵州、滇东等地也有较多矿区仍然存在着供水水源问题，需要作水文地质工作。

3. 解决好矿区的环境水文地质问题

由于煤炭工业的发展，矿区建设规模的不断扩大，一方面使得矿山开发对地质环境质量的要求不断提高，另一方面，矿山开发对地质环境的影响日趋剧烈。由于我国煤矿分布地域广大，开发强度大，矿区地质环境变化带来的影响是极为广泛、极为深刻的，矿区环境保护不仅是矿区自身的问题，而且是一个社会问题，在国民经济的发展和国土规划及环境保护中占有越来越重要的地位，已经成为我国煤炭工业发展的重要制约因素之一。由于矿山开采强度、范围、深度的增加以及机械化程度的提高，不仅一些老的地质环境问题如瓦斯、突水、巷道变形和破坏、地面沉陷和塌陷等问题更趋尖锐，而且还可以出现一些新的问题，如崩塌、滑坡、土地沙漠化、生态环境恶化、水资源污染和破坏等问题。近几年来，在厚层新生界覆盖区已经出现地面下沉、矿井井筒破坏等一些新的问题。评价矿山地质环境质量和容量，研究和预测矿山建设和开发可能引起的地质环境变化，为矿山地质环境保护和地质灾害防治提供切实可行的，经济技术合理的措施已成为一项矿山建设和开发的必不可少的工作，而水文地质工作则往往是其中最主要的内容，环境水文地质问题是环境地质和生态环境保护的核心问题。

晋陕蒙相邻地区，煤炭资源十分丰富，是今后煤炭工业的最重要的基地之一，但是该区水资源缺乏，虽然由于当地工农业发展水平很低，水资源的已利用率很低，矿区发展初期供水水源可以得到解决，但长期发展所需水源多不落实。区内主要的供水对象煤系烧变岩及第四系砂层水位于煤层之上，受大气降水的大面积就近补给，矿区大范围开发后，不仅补给区易于遭受破坏，而且水质又极易污染，加之区内生态环境十分脆弱，不适当的采

煤或采水都可能导致水资源破坏以及生态环境恶化，出现沙漠化等严重问题，矿井开采后，一部分地下水流入矿坑，必须改虑矿坑水水质保护和综合利用。用系统论的观点处理采煤保水、水资源合理开发利用、生态环境保护等各种问题，作好水文地质工作，才能保证区内煤矿建设的正常进行。

4 进一步作好水文地质工作，取得良好的经济效益和社会效益

作好水文地质工作不仅是保证矿山安全正常开采的必要条件，而且可以获得明显的社会效益和经济效益。例如，在东部地区如能解放部分受水威胁的煤炭资源，则不仅可以为矿井的正常生产接续创造条件，提高了矿山的效益，而且也缓解了东部的煤炭资源紧缺状况，发挥了资源的社会效益；从矿坑排水的综合利用来看，仅华北地区一些主要矿区矿坑排水总量即达 $42.2m^3/s$，其中，排岩溶水 $26.05m^3/s$，开滦、峰峰、焦作 3 个矿区排岩溶水总量即达 $22.81m^3/s$，如果能更好地加以综合利用则不仅缓解当地用水紧缺问题，有巨大的经济效益，而且有效地保护了水资源，对于北方缺水地区有明显的社会效益。在煤炭工业的发展中，矿床地下水的综合利用及排供结合，矿区的水资源保护均将越来越重要，与之相应的水文地质工作的任务也是艰巨的。

综上所述，煤田水文地质工作不仅是煤炭资源勘探的重要组成部分，而且是煤矿基建和生产地质工作的重要内容，无论是矿井的防排水设计，矿井的防治水工作，矿山地质环境保护，矿床地下水的综合利用，矿区水资源保护、合理利用与管理、都离不开水文地质工作。矿床水文地质工作作好了，才能保证矿井正常安全地生产，减少和避免水害的产生，使矿床的开采在经济技术上更合理。从煤炭工业的发展战略上讲，虽然我国煤炭工业在国民经济中的重要地位在今后长期内不会改变，但是煤矿开发的环境、安全、效益问题都是极为重要的制约因素，而这三方面的问题往往和水文地质条件密切相关。

为了更好地做好煤田水文地质工作，使煤田水文地质工作更好地为煤炭工业的发展服务、为国民经济建设服务，有必要对上述诸多问题进行理论上和技术上的探索；对长期以来中国煤田水文地质工作所积累的大量资料和丰富经验进行系统总结、提炼，提高煤田水文地质工作的水平。显然，建立中国煤田水文地质学是非常必要的，而且是刻不容缓的，其国民经济意义是显而易见的。

二、中国煤田水文地质学研究的历史和现状

中国煤矿开采历史悠久，开采规模大、范围广，遇到的问题多而且复杂，中国煤田水文地质学便是在中国煤矿床长期开采历史中形成的。

我国煤矿的开采可以追溯到唐代以前。在古代，我国人民已创造发明了各种提水和排水方法，利用木制绞车、辘轳来提升水桶和排水车，以及用排水沟将矿坑水排出平硐。但是，由于生产力发展水平不高，排水工具简单，排水能力较小，只能开采地下水位以上或者水量不大的矿床，而且开采深度也小。南方一些矿井常常旱季开采、雨季停产，进行季节性开采，这种开采方法直到今天仍然在南方一些小煤窑中采用着。此时，煤矿开采以躲水为主，人们积累了判别水大和水小的一些标志。采煤活动多在分水岭地段、山坡斜坡地带，平峒开采占有较主要的地位，利用排水沟作自然排水；而利用竖井、斜井开采地下水水位以上或者充水微弱的矿床。我国淄博、峰峰、井陉、丰城等许多老矿区，浅部均有许多不同历史年代的老窑存在。

解放前，矿床水文地质工作十分薄弱，在矿床勘探与开发过程中很少进行或者不进行矿床水文地质条件研究，矿区没有专门从事矿床水文地质工作的技术人员。尽管当时煤炭产量很低，开拓深度也浅，但是矿井淹井事故常有发生。1935 年 5 月 13 日山东淄博北大煤矿发生灾害性突水，534 名矿工遇难，矿井被淹没，造成震撼中外的水害事故。

解放后，煤炭工业得到了迅速的发展，随着煤矿开采规模、范围和深度的扩大，水害问题日益突出，矿床水文地质工作已经成为煤矿床开发中的一个必不可少的部分，在煤矿床的勘探和开发过程中揭露了大量的水文地质问题，作了许多研究工作，积累了大量的经验，逐渐形成了煤矿床水文地质学这门学科。煤炭工业的发展为煤矿床水文地质学的产生和形成提供了基础，而煤矿床水文地质学的有关理论和方法又有力地指导了煤矿床水文地质工作，服务于煤炭工业，促进了煤炭工业的发展。

50 年代初期，我国的煤炭工业发展水平很低，煤矿床水文地质工作基础薄弱，没有形成专门的技术队伍和自己的煤矿床水文地质理论与方法，主要是学习苏联的经验，某些重点矿区的水文地质工作是在苏联专家的帮助下进行的。在此阶段，先后在四川中梁山、河南焦作、河北峰峰和村、江苏贾汪、广东茂名、黑龙江鹤岗、辽宁阜新、抚顺、河北开滦等煤矿区开展了矿床水文地质工作，在工作中取得了一些初步经验，在实践中培养了一批专门水文地质人员。

1954 年 6 月，燃化部在北京召开了首届“全国煤田水文地质会议”，明确了水文地质工作是煤矿床开发各个阶段不可缺少的工作，明确了必须配备专职水文地质人员，此后煤矿床水文地质工作开始走向正规。1958 年煤炭部在北京召开了第二届“全国煤田水文地质会议”，交流了工作经验，会后出版了《煤田水文地质工作经验汇编》，同年 6 月，在山西太原召开了“煤田水文物探会议”，会上推广了井液电阻率法和充电法在矿区水文地质工作中的应用。1958 年，还出版了沈尔炎编著的《煤、油页岩矿水文地质工作方法》一书；1959 年煤炭工业部出版了《1/120 万全国煤田水文地质类型图》。1957 年葛亮涛同志提出了混合井流理论，1960 年首先研制成功了第一代钻孔流量测井仪并在矿床水文地质工作中获得了应用成果；在此基础上，多层混合井流理论及流量测井法逐渐充实和完善，先后在吉林、甘肃、青海、邯郸、江苏、河北、陕西、辽宁、广西、山东等许多地区得到了推广应用，与此同时流量测井仪也在不断地改进，由煤炭部地球物理勘探公司研制成功并通过鉴定的 MSS…I型流量测井仪既可用之于点测，又可进行连续测量，并可同时进行井径测量。1984 年出版了葛亮涛等同志所著“多含水层混井流理论及流量测井法”一书，比较系统地总结了多层井流理论及流量测井法研究的成果，也丰富了地下水动力学的内容。

60 年代初期，前苏联专家撤走后，矿床水文地质工作只能完全依靠我们自己的力量，在湖南云湖桥、河南中马村、山东济宁等水文地质条件复杂的岩溶水矿区进行了专门水文地质勘探，在江西丰城、河南平顶山等煤矿进行了大口径群孔抽水试验或矿井放水试验。1964 年，煤炭部组织了对焦作煤矿突水的攻关，在广东茂名露天矿进行了露天疏干勘探试验；在峰峰煤矿二矿和焦作演马庄煤矿进行了降低灰岩岩溶水水位的勘探试验工作。

文化大革命造成了十年浩劫，给各项工作造成了严重破坏，也给煤矿床水文地质工作造成巨大损失，工作无章可循，处于混乱状态。虽然在此期间煤田水文地质工作者仍然作

了一些工作，但在煤矿庆水文地质理论研究上进展甚小。

1977 年 2月，煤炭工业部、冶金工业部、石油工业部、化工部及国家地质总局在广东马鞍煤矿联合召开了“全国综合治理和利用矿床大面积地下水经验交流会”，交流了各有关部门在矿区水文地质勘探、地下水综合治理和利用、新的勘探方法和技术的研究及应用等方面的经验。会后，于 1979 年 6月由煤炭工业出版社出版了《综合治理和利用矿床大面积地下水经验汇编》一书。

1973～1978年，煤炭工业部邯郸治水指挥部在邯郸地区开展了大规模的矿床水文地质勘探，进行了大规模、大试验场的大口径孔组抽水试验，积累了大量的正反两方面的经验，总体上查明了邯郸矿区的一些基本水文地质条件，为该区进一步进行矿床水文地质勘探和防治水，为矿区的地下水综合利用打下了基础。

1977～1978 年，煤炭工业部地质局组织了大规模的煤矿采探对比调查，先后对肥城、永耒、扎佐、开滦、舒兰、南票、火铺、淮南、云庄、中梁山等矿区进行了回访调查。与此同时，国家地质总局也开展了大规模的矿山回访调查工作。在大量的采探对比分析和广泛征求意见的基础上，煤炭工业部会同国家地质总局拟共同制定“煤炭资源地质勘探规范”，进一步明确矿床水文地质工作在煤田地质勘探中的地位，并将规范中有关章节作为指导煤炭资源勘探中水文地质工作的基本准则。此规范从 1980 年 1 月起，在煤炭系统颁发试行。该规范进一步研究了水文地质勘探类型的划分方案和划分依据，强调了必须以矿床的主要直接充水含水层及其富水性、补给条件作为划分煤田水文地质勘探类型的主要依据，将矿区含水层的富水性和它向矿坑充水的方式、途径、含水层的导水能力与补给条件，天然流场与开采流场统一起来考虑；规定了大水矿区必须从一个完整的水文地质单元入手工作；重视了对底板水特别是岩溶底板水的勘探和研究，明确了底板延深孔是勘探以底板充水为主的煤矿床的重要手段，明确了长期观测工作的地位；规范对矿床地下水的综合利用、综合方法勘探以及勘探方法、重点、工作程度均有了进一步明确。在此基础上，煤炭工业部地质局又组织编写了《煤田地质勘探钻孔简易水文地质观测规程》、《煤田水文地质测绘规程》、《煤炭资源地质勘探地表水、地下水长期观测及水样采取规程》、《煤田勘探钻孔质量标准》等规程。这样的编制成果，使煤田水文地质技术工作有章可循，有利于煤田水文地质工作和科学研究的发展。 1986 年全国储委煤炭专业储委成立后，又着手对 1980 年《煤炭资源地质勘探规范》进行了修编，使之更趋于合理。

鉴于煤矿供水水源勘探与一般城市及企业供水水源勘探存在着许多不同之处，有关水源勘探规范不能适应需要，1984 年在系统总结煤矿区供水水源勘探的经验和水源地开采回访调查的基础上，由煤炭部地质局主持编制了《煤矿企业供水水文地质勘探规范（暂行》。

中国共产党十一届三中全会以后，煤田水文地质工作有了比较迅速的发展，地下水非稳定流理论和方法、地下水的数值计算方法都得到了迅速的推广，并在许多勘探项目中得到比较广泛的应用。广东格顶、山东济宁、河北峰峰、内蒙古元宝山和伊敏、甘肃华亭水源等项目中均开展了地下水的数值法计算，有较好的效果。非稳定流抽水试验方法已成为煤矿床水文地质工作中一项重要的手段，在许多勘探区的水文地质工作中，注意了将非稳定流抽水试验和稳定流抽水试验有机地结合起来，根据抽水试验工作的目的和具体的水文地质条件灵活运用、互相配合、积累了一些经验。这些年来，水文地质物探工作也得到

了迅速的发展，电测深、电剖面、激发激化、声频大地电流法在矿床地下水及矿区供水勘探中均发挥了积极的作用；煤田地质常规测井资料，如自然伽马、散射伽马、电阻率、自然电位、声速测井、中子测井法等测得的资料已比较广泛地用于水文地质解释中，例如，黑龙江东荣、两淮等矿区，利用常规的煤田地质测井资料解释煤系上覆松散地层的岩性及富水性，解释松散层下伏基岩面的起伏状况等均取得了较好的作用；井液电阻率法、激发激化法、超声成像等测井方法以及一些孔间物探（电波和声波透视、槽波地震等）都有了许多进步。流量测井方法从1960年问世并获得初步应用后，已在许多勘探项目中取得较好的效果，解决了一些水文地质难题，对于提高水文地质工作质量和经济技术效益有明显的作用。近年来，瞬变电磁法在探导水岩溶陷落柱及导水断层方面取得优异的成绩；地质雷达在探测浅部岩溶、裂隙方面显示了卓越的性能。

在1980～1990年内，煤田地质系统对一些水文地质条件复杂的矿区专门进行了大量的水文地质勘探工作，解决了一些水文地质上的悬案。在元宝山、伊敏、宝日希勒、大雁、霍林河、济宁、淮南、大屯、丰城、碴渡、合山、七约山、峰峰、蔚县、韩城、霍县等矿区进行了专门水文地质勘探或研究工作，从一个完整的水文地质单元入手，着重研究了地下水的补给条件和疏排影响范围内直接充水含水层的贮水能力、导水能力，综合利用了大口径群孔（孔组）抽水试验、长期观测、简易水文地质观测、流量测井及其它测井手段，取得了较好的成果，摸索了一些方法，积累了较多的经验。与此同时，也进行了大量的供水水文地质勘探工作，解决了许多煤矿矿区的供水。煤炭部水文地质勘探公司通过综合分析水文地质条件等方法，在河南义马、内蒙准格尔等缺水严重、多年未找到良好水源的地区找到了较丰富的地下水，为矿区的发展作出了贡献。

这些年来，由于煤矿床开发强度和深度的增加，对矿床水文地质工作的要求也大为提高，使得煤矿床水文地质工作量也有较大的增加，对勘探方法、技术和手段的研究也得到了加强。1987年煤炭工业部地质局在江西召开了“全国煤田水文地质工作经验交流会”，比较系统地总结了大水岩溶矿区水文地质勘探、干旱半干旱矿区供水水文地质勘探、水文地质物探、露天煤矿水文地质及工程地质勘探、水文地质勘探手段和方法、水文地质基础工作等方面的经验。会后，煤炭工业部地质局选编出版了《全国煤田水文地质工作经验交流会论文选编》。

1990年中国煤田地质局又在无锡召开了煤田水文地质会议，会议总结了1983年以来煤田水文地质工作经验和科学技术进步。会上强调了利用综合勘探，进一步发挥物探作用；介绍了在岩溶大水矿区勘探中如何利用弱含水层和相对隔水层，改善矿井充水条件方面的新进展；总结了矿坑涌水量预算、矿床工程地质、矿区水资源评价、深部岩溶研究、水文地质工程地质施工、开拓地质市场的技术工作等各个方面的新的进展，交流了矿区环境地质工作方面的一些经验以及新技术新方法的使用及水文地质市场的开拓。这次会议展望了今后煤田水文地质工作，认为加强煤田水文地质和矿床工程地质工作是适应煤炭工业持续发展的需要，今后要在解决我国西部矿区供水水源和解放东部受水威胁的煤炭资源方面多作工作。值得提出的是，煤田水文地质局通过努力，先后在义马、准格尔、大同等缺水严重的矿区找到了较丰富的岩溶地下水，不仅缓解了这些矿区的供水问题，同时也摸索出了比较合理的深水位的岩溶水资源的评价工作，也有较好的效果。目前，中国煤田地质局正着手研究我国西部各主要矿区的水资源状况以及解决矿区供水水源的对策问题。

1990 年地矿部、中国统配煤矿总公司、冶金部、中国有色金属 S 工总总公司共同完成了“中国北方岩溶地下水资源及大水矿区岩溶水的预测利用与管理研究”。其中，中国煤田地质局组织完成了第三课题“中国北方岩溶充水矿区充水和区充水特征、发展趋势、排供结合及其他防治方法的可行性研究”。1995 年，由煤田水文局二队完成了“准格尔矿区深层岩溶地下水的合理开发与利用”研究，摸索出了深层岩溶地下水勘探与开发的一些基本经验，为缺水严重的准格尔矿区找到了丰富的岩溶水。此后，煤田水文地质局又在平朔安家岭、大同口泉沟南、河底黑龙关、潞安矿区及阳泉韩庄水源等项目中取得水源勘查成果，其中阳泉韩庄水源地水位深达 450m 以上，岩溶发育在 600m 以深，是我国目前水位最深的深层岩溶水勘探成果。为了合理利用我国东部隐伏煤田的浅部资源，提高矿山效益，也为了向煤矿设计、基建、生产、安全领域扩大与延深服务，中国煤田地质总局组织了“我国东部巨厚新生界覆盖下露头煤柱类型及尺寸提出了建议，有重要的指导意义，同时也为露头煤柱的留设提供了经济技术合理的勘探方法，特别是总结研究了物探方法。近些年来，在矿区供水及矿床水文地质勘探中，综合勘探技术特别是物探技术发展迅速，正发挥越来越积极的作用。今后，煤田精查及供水勘探费用已由业主出资，对于如何以较少的资金投入，取得好的勘探效果；如何保证水文地质工作的基本需要，解决关键性问题表现出极大的关注，要求更合理选择勘探方法、手段和工作量。

在进行煤矿床水文地质勘探工作的同时，矿井基建及生产阶段的水文地质工作也得到了普遍的重视与明显的进展。煤炭科学院西安分院在矿床水文地质勘探及矿井防治水方面都作了大量的工作，许多矿务局也作了大量的工作。例如，峰峰四矿在开采深部上组煤及下组煤过程中，在井上、井下进行了多次大青灰岩放水试验，配合物化探，查明了大青灰岩的补给通道并进行了堵截，使矿井 ±0m 水平的矿坑涌水量减少了 29.66t/min，－100m 水平的矿坑涌水量减少了 37.4t/min，堵水效果达 90% 以上，解放煤炭资源数百万吨，每年节约排水费用 200～300 万元以上，并延长了矿井的寿命；开滦矿区 1978 年地震造成淹井，1984 年范各庄矿遇陷落柱而发生特大突水淹井，这两次水害均为世界所罕见，但由于恢复排水及时、方法得当，在较短的时间内使矿区恢复了正常生产；淄博矿区这些年来，已进行了井下突水点、导水钻孔、断裂带的堵水 20 余次，封堵涌水量共达 572.37t/min。从 1964 年在焦作进行底板突水问题攻关以来，各矿务局、科研单位和有关院校都进行了大量的工作，其中葛亮涛同志发表的《煤矿底板突水的岩体力学机制》一文对底板突水的机制和预防有较深刻的认识和实用意义，许多矿区也总结了一些适合本矿区特点的预测方法。

随着煤矿床水文地质工作的迅速发展，各个煤炭矿业学院均设置了矿床水文地质课程，并在中国矿业学院和郑州煤田职工地质学院设置了水文地质专业。煤炭科学院西安分院从 1956 年设立矿床水文地质研究室以来，技术力量不断地得到加强，1985 年扩大为水文地质研究所。

建国以来，地质部、冶金部、核工业部和其它系统也进行了大量的矿床水文地质工作，这些工作对煤矿床水文地质工作和煤矿床水文地质学的研究也有相当积极的作用。1958年 8 月地质部在北京召开了首届“全国矿区水文地质工作经验交流会”，总结交流了地质部矿区水文地质工作的实践经验，同年，全国矿产储量委员会颁发了《矿区水文地质勘探暂行规范》，辛奎德编著了《矿区水文地质勘探方法》一书。1974 年，国家地质总局

重新制定了“矿区水文地质工作规范（试行）”；1975年10月，国家地质总局在烟台召开了“全国矿区水文地质经验交流会”；1977年6月，国家地质总局、冶金工业部、煤炭工业部共同下发了“关于开展全国岩溶充水矿山水文地质回访调查的联合通知”，分别进行了大规模的矿山探采对比工作。

煤矿床是一种沉积矿床，矿产储量、开采规模、开采强度及产量均居于我国各种矿产的首位，开采深度也大，矿床水文地质条件及其研究工作具有许多特殊性及复杂性，和其它矿产有明显的区别，煤矿床水文地质学科今后的发展在吸收其它种类矿床水文地质工作经验的同时，将主要地依靠煤矿床勘探和开发中的经验，研究各种与煤矿床开发有关的问题才能不断前进。我国煤炭工业的迅速发展为中国煤田水文地质学的研究和煤矿水文地质工作的前进提供了极其有利的条件，使其迅速地形成一门独立的学科，随着煤矿开采深度、强度以及规模的继续扩大，这门学科的研究也必将进一步深化和丰富。现在我国煤田水文地质工作者已拥有独立解决我国各种复杂条件下煤矿床的水文地质问题的能力，随着新技术、新手段、新装备的推广和应用，这种能力将得到进一步加强。

三、中国煤田水文地质学研究的基本内容和特点

(一)基本内容

1　研究中国各地区各时代煤田的水文地质条件、特征、规律及其控制因素

中国幅员辽阔，自然地理条件差异很大，而且成煤时代众多，大地构造条件也东、西、南、北各异，并各有不同的构造运动史，因而使中国的煤田水文地质条件异常复杂而多样，其特征千差万别。但不论其如何复杂多样，总是有一定的规律可循的。而这些条件、特征和规律，都是受一定的因素所控制的。全面地研究中国各地区各时代煤田的水文地质条件和特征，深入研究其规律和控制因素，将为中国煤田水文地质学奠定牢固的理论基础与丰富的科学内容。

2　研究煤矿开采时的充水水源、充水方式及充水量，特别是各种水害的预测与防治

中国许多煤矿尤其是东部许多煤矿水量很大，水害非常频繁。华北及华南地区均受岩溶水的严重威胁，突水和淹井事故屡屡发生，而且随着开采深度的增大而日益加剧；两淮地区则除了受岩溶水的威胁外，还存在巨厚的新生界砂砾含水层压煤及井筒安全问题；一些位于地表水体下或其附近的煤层则存在地表水及第四系砂砾层水溃入井下之虞；一些老矿区的浅部则还有老窑突水问题。这些水害的充水途径、充水方式及充水特征不一，有的是底板突水，有的是顶板突水，有的是断层突水，还有岩溶陷落柱突水，采空区塌陷突水以及地表水直接灌入等等。

3　研究矿区的供水水源

解决好煤矿区供水水源问题，是煤田水文地质工作的主要任务之一，也是中国煤田水文地质学基本研究内容之一。目前，中国许多煤矿区的供水水源问题已日趋突出。尤其是中国西部地区煤炭资源非常丰富，但处于干旱或半干旱地区，地下水资源非常贫乏，矿区供水问题不易解决，常常成为约制煤炭工业发展的一个重要因素。同时由于中国东部煤炭资源比较紧张，迫使煤炭工业的建设重点不得不向西转移，这就更加剧了西部供水水源紧张的局面。不仅西部存在供水源紧张问题，即使在水害较多的东部地区的某些大水老矿区，也因矿井长期大量排水，引起矿区大范围水位下降而存在供水水源紧张问题。因此，

如何解决好煤矿区的供水源问题，实为一个具有普遍意义和长远意义的重要问题。从根本上看，煤矿开采需要排水，矿区工农业建设及人民生活又需要供水，这个供、排矛盾在中国大多数煤矿区都不同程度地存在着。解决这个矛盾的根本出路在于“排、供结合，综合利用”。在这方面，我国有些煤矿区已经有了良好的开端，今后仍须大力加以研究、完善和推广。

4. 研究矿区的环境水文地质问题

煤矿排水能引起大范围地下水位下降，地面及浅部水源枯竭，井、泉干涸；矿区废水（包括矿区工业废水及矿坑废水）排放，则又能造成下游水源污染。不仅直接影响矿区及其周围人民生活与生产，而且能改变生态平衡，遗害深远。尤其是中国西部干旱地区，水资源已非常贫乏，煤矿还要排水，如不采取有效措施，势必导致大范围的沙漠化，其后果是不堪设想的。从华南地区，则煤矿排水常使地表大范围产生岩溶塌陷，破坏村庄、农田、公路、桥梁、工厂及其他地区建筑和设施；还往往造成人畜伤亡；并能导致地面水大量灌入矿井，使矿井淹没。这一特殊的环境水文地质工程地质问题，在湘、干、粤、桂等省（区）分布非常广泛。其危害之大、分布之广，在世界上也是罕见的。

5. 研究煤田地下热水及热害

中国有些煤田富含地下热水；有些煤田则处于地热正异常区；还有些煤田开采深度很大，正常的地温梯度已使采区“进入”热害区。随着开采深度的日益增大，不但原有的热害区将进一步加剧和扩大，即使那些现在无热害的煤田也将陆续出现热害。因此，热害问题是一个不容忽视的大问题，必须予以及早研究，找出对策。至于煤田热水，一方面能给采煤带来热害，另一方面，它本身又是一种可供开发利用的宝贵资源。问题是能否找到一种适当的办法，既能开采热水资源，又能缩小热害区，解放煤炭资源。

6. 研究煤田水文地球化学

研究煤田水文地球化学，不仅是研究煤田水文地质条件不可缺少的重要内容，而且它还直接关系到矿坑水的水源分析与防治，水的排放、处理的利用，井下设备、材料的选择与维护，供水水源地的选择与防护，热水和矿泉水的开发和利用，以至矿区工农业的发展，矿区人民的生活与健康诸多问题。

7 研究与水文地质有关的矿山工程地质问题

在许多煤矿的建设与生产中，与水文地质有关的矿山工程地质问题也大量存在。在一些以松软岩层为主的煤田，粉、细砂岩层在水的作用下往往形成流砂大量灌入井巷，使井巷迅速淹没，甚至造成人员伤亡，而且被淹井不易恢复；松软的泥岩及粘土岩被井巷揭露后，易产生塑性变形，使巷道产生底鼓、垂顶、凸帮、支架折断、断面缩小、甚至岩层流动等现象，井巷维护十分困难，在一些巨厚松软岩层覆盖下的煤田，则存在两大困难：一是井筒易被破坏，二是隐伏露头附近的煤层不易开采；在一些露天煤矿则大多存在边坡滑动及陷车、陷铲等问题；其他如地面滑坡、泥石流、地表塌陷等灾害工程地质现象也都与地下水的活动有关。

8. 研究煤田水文地质调查与勘探的方法

我国对各类煤田的水文地质调查与勘探方法已经积累了丰富的经验，并编制了相应的规范与规程，基本上形成了一整套适合于中国煤田水文地质特点与中国国情的煤田水文地质调查与勘探方法。这是非常可贵的，应予以总结、提炼和提高。但另一方面，煤炭工业

的发展，对煤田水文地质工作的要求日益提高；各种煤田水文地质条件的被进一步揭露，新现象、新问题不断出现；国内外科学技术的飞跃进步，新方法、新手段不断问世；再加上改革开放后的社会主义市场经验也使煤田水文地质工作面临新的形势。这些，都使原有的方法和手段难以完全适应新的需要，有必要加以进一步探讨、修改和补充，使其不断完善、不断前进，以适应煤炭工业和国民经济发展的需要。

9 研究中国煤田水文地质学的技术发展方向

任何一种科学总是随着人类社会的进步而不断发展，不断完善、不断深化的。刚刚诞生的中国煤田水文地质学更是如此。为了使它能健康地成长和发展，及早研究一下它的技术发展方向，是必要的。可以预料，它将随着中国煤炭工业和国民经济的发展，随着国内外各种科学技术的进步，其内容将不断充实；其理论水平与实用技术水平将不断提高，其方法与手段将不断前进；其认识自然、改造自能的能力将不断加强；它对中国煤炭工业及国民经济的发展将起到更大的促进作用。

(二)特点

1. 它是一种能充分反映中国煤田水文地质特色的科学

中国煤田水文地质学是在中国特有的煤田水文地质条件下产生的。它的研究内容和立论基础，都是从中国特有的煤田水文地质条件出发的。它不同于一般的水文地质学，也不同于一般的煤田水文地质学，而是具有中国特色的煤田水文地质学。当然，它的论述和论点，原理和方法，在世界上还是能通用的，它所提供的资料，更是世界的煤田水文地质学上罕能见到的最宝贵的财富。

2. 它又是一种特有的为中国煤炭工业发展服务的科学

中国煤田水文地质学从头至尾都贯彻着为中国煤炭工业的发展服务的思想。它所论述的一切问题，都是中国煤炭工业发展中所曾经发生过今后将发生的问题；它所提供的一切理论、方法和手段，都是中国煤炭工业发展中解决有关水文地质问题时所必须应用的；它观察问题、讨论问题的角度，也是从中国的具体国情下发展煤炭工业出发的。当然，它所提供的科学性理论与技术方法，是不受国界的限制的，对于世界上其他国家或地区的煤田水文地质工作同样具有一定的指导作用或参考价值。

3. 它还是一种与多种学科相结合的边缘科学

中国煤田水文地质学的研究内容较广，所涉及的科学领域很多。它不仅与地学方面的中国煤田地质学、构造地质学、地史学、地层学、沉积岩石学、地热学、地球化学、地球物理学、普通水文地质学、矿床水文地质学、专门水文地质学、地下水动力学、水化学、矿山工程地质学、动力工程地质学、岩石力学、土力学等有较密切的关系，而且还涉及到气象学、水文学、流体力学、材料力学、结构力学、弹性力学、数学以及采矿学、环境保护学等几十个科学领域。因此，它是一种与多种科学相结合的新兴的边缘科学。但它的主体性质还是属于地学的范畴。

4. 它更是中国广大煤田水文地质工作者长期与地下水斗争的经验及资料的科学总结

中国煤田水文地质学内容充实，资料丰富，而且是来自于中国广大煤田水文地质工作者长期与地下水斗争的经验积累，经过科学提炼、系统总结而成。其中许多的内容和观点，系首次和读者见面，在国内外其它书籍及刊物中是难以找到的。

第一章　中国煤田水文地质概论

第一节　　晚古生代煤田水文地质概述

我国晚古生代的聚煤作用有早石炭世、晚石炭一早二叠世和晚二叠世三个聚煤期，其中，以晚石炭一早二叠世和晚二叠世两个聚煤期为主。其煤炭储量约占各时代煤炭总储量的三分之一。广泛分布于阴山、阿尔泰山以南的广大地区。其中，以贺兰山一六盘山构造带以东，秦岭一大别山构造带以北的华北区分布最集中，储量最富；川滇古陆以东，秦岭一大别山构造带以南的华南区次之；西北区、青藏区则较差。

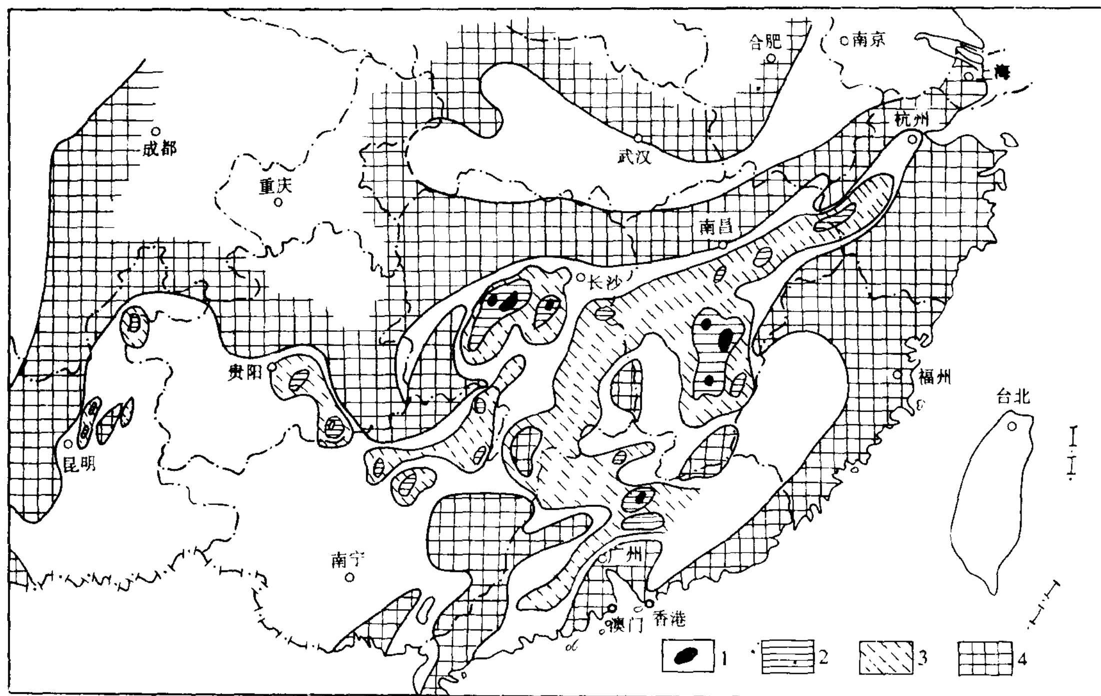


图1－1　华南区早石炭世测水组分布及含煤性图

1～3－表示煤层总厚等级（厚→薄）；4－古隆

一、早石炭世煤田

古生代时，我国在大地构造上尚未形成统一的中国大陆，而是长期呈现为彼此不相接触的北、中、南三大带：北带以松辽、准噶尔两个地块为核心，其北部则属于西伯利亚大

陆的南缘部分。中带以华北、塔里木两大陆块为核心，是中国北方大陆的主体。南带以扬子古陆、羌塘古陆为核心，是中国南方大陆的主体。北带与中带之间，隔有天山一阴山海槽；中带与南带之间，隔有昆仑一秦岭海槽。

比较具有工业价值的早石炭世煤田，主要分布于南带（南方大陆）。加里东运动使南带大部分地区隆起为陆，泥盆纪时又由西南向东北开始海侵，至早石炭世，在南带东部，海水沿上扬子古陆、云开古陆与武夷古陆之间达滇东、黔西、湘西北、鄂东南、皖南、苏南等地。晚期（大塘期）出现短暂的海退、沿古陆的边缘沉积了滨海环境下的含煤地层。分布于滇东（万寿山组）、黔西北（旧司段）、桂北（寺门段）、湘中和粤北（测水段）、干中南（梓山段）、浙西（叶家塘组）、鄂南、干东北、皖南（高骊山组）、苏南等地（图 1－1）。其中以湘中的侧水段含煤较好，粤北、桂北、黔西北、干南干中次之，其他地区均较差，一般不可采或仅局部可采。

湘中测水段的富煤地带主要分布于芦毛江、金竹山、渣渡、杨家山、伏口、十字路一带以及朝阳、梓门桥、太平寺一带。含煤多达 47 层，可采或局部可采 1～3 层，一般可采 2层（即 3、5 号煤层)。其中 3 号煤厚度 0～16.2m，平均 1.95m; 5 号煤厚度 0～12.3m ，局部可达 27.23m，平均 1.9m 以新化、涟源一带煤层最佳、属特低灰、低硫、高发热量无烟煤。粤北曲仁煤田的芙蓉山、大塘、枫湾、厢廊一带为相对富煤地段、江西省的梓山段含煤较好的主要位于干南的兴口杜富圩、宁都王官、瑞金方石山等地。

地层	厚度(m)	柱状	岩性
壶天灰岩 C_{2+3}	431～953		厚层状灰岩 白云质灰岩
梓门桥灰岩 C_{1z}	131～342		石灰岩夹多层泥灰岩
测水段 C_{1c}	20～484	1煤 3煤 5煤	砂质泥夹、砂岩夹石灰岩 砂质泥岩、砂岩、泥岩夹煤层
石磴子灰岩 C_{1s}	153～588		石灰岩夹泥灰岩

图 1－2 湘中石炭系柱状图

湘中的测水段下有石磴子灰岩，上有梓门桥灰岩（图 1－2）二者均为岩溶裂隙含水层。但因含有较多的泥质灰岩夹层，使岩溶发育受到一定限制，尤其在垂直方向渗透性能更差，对于煤层开采颇为有利。故在一般情况下测水段的水文地质条件并不很复杂。但在碴渡矿区的中段，由于金盘龙断层把强烈岩溶化的壶天灰岩直接推覆于煤层顶板之上（图 1－3）煤层顶板断层泉的最大流量竟达 $37m^3/s$，使一部分煤炭储量难以开发。

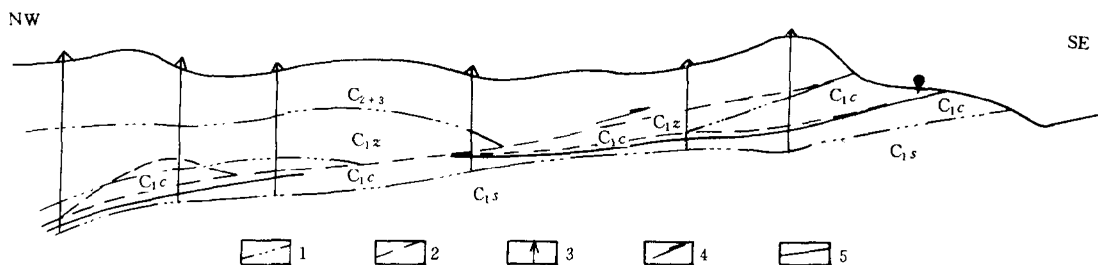


图 1－3 湘中碴渡中段剖面图

1－地层界线；2－断层；3－钻孔；4－断层推掩方向；5－煤层

桂北的寺门段由泥岩、砂岩、泥灰岩及煤层组成，厚度 15～1214m 。含煤层及煤线 10～22 层，可采及局部采 1～3 层。可采煤层总厚度 0.5～4.11m。煤层较稳定及不稳定，煤种为无烟煤，有红茂、罗城、柳州、全兴等矿区。自北而南、自西而东，含煤性变差，层数减少，厚度变薄。寺门段主要由隔水岩层组成，煤层产于良好的隔水层中，距上覆及下伏岩溶含水层均较远，不易直接接触，故其水文地质条件，一般都很简单。

早古生代时，我国南带西部长期沉没于昆仑海槽与冈底斯一喜马拉雅海中，二者之间夹持着羌塘古陆、昌都地块及松潘古陆。至早石炭世，海侵范围扩大，羌塘古陆被海水淹没，昌都地块则处于海陆交替环境，从而沿着昌都地块的延伸方向（由南端的北北西转为北端的北西西），在芒康、贡觉、妥坝、囊谦、类乌齐、丁青一带沉积了早石炭世马查拉组含煤地层（图 1－4)。煤层位于马查拉组的下部，其含煤性在平面上的变化趋势是中间好，南、北两端较差。如北端的囊谦加麦弄含煤十余层，呈凸镜状，仅局部出现中厚煤层；向南至青藏边界自家铺一带，则煤层层数可达 70～80 层，可采及局部可采 20 余层。一般为薄煤层，稳定性较好；到马查拉一带，煤层达 80 余层，含可采或局部可采煤层 30 层，一般单层厚度 0～0.8m，最大厚度 2.55m。属无烟煤。不稳定至较稳定；南端的金多、加卡等地则仅含煤 4 层，为凸镜状的薄煤层，稳定性差。

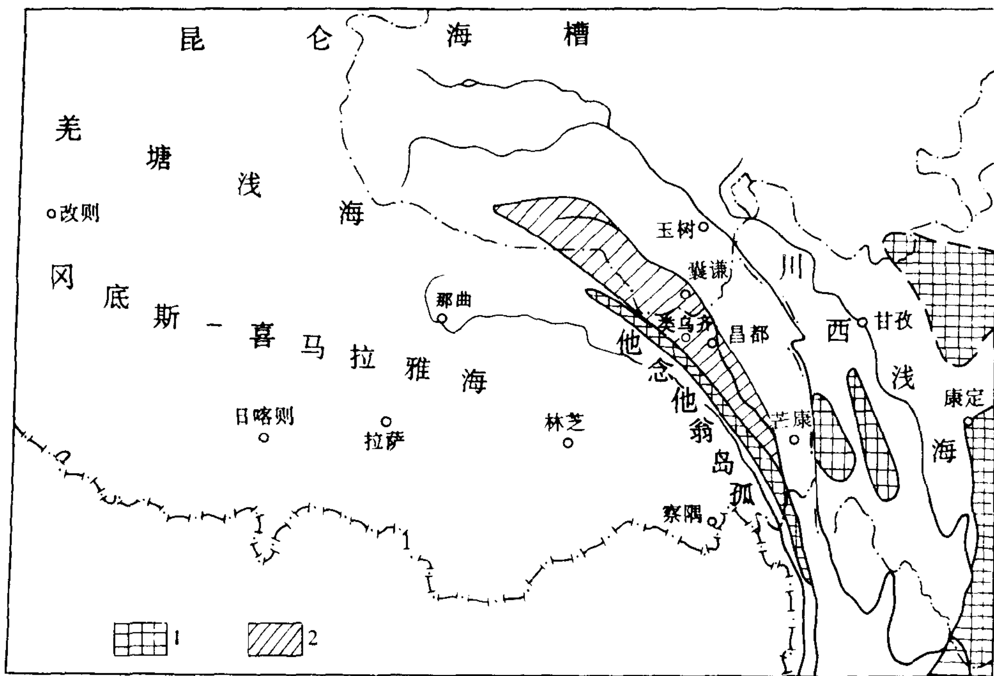


图 1－4 青藏区早石炭世古地理图

1－古隆；2－含煤地层（马查拉组）分布范围

马查拉组的下部为含煤段，由泥灰岩、石英砂岩、粉砂岩、泥岩及煤层组成（图 1－5)，厚度 560m 以上。以含裂隙水为主。但其下伏泥盆系为稳定的浅海相灰岩，马查拉组的上部又为灰岩段，且该区的断裂构造尤其是新构造异常发育，给地下水的循环及岩溶发

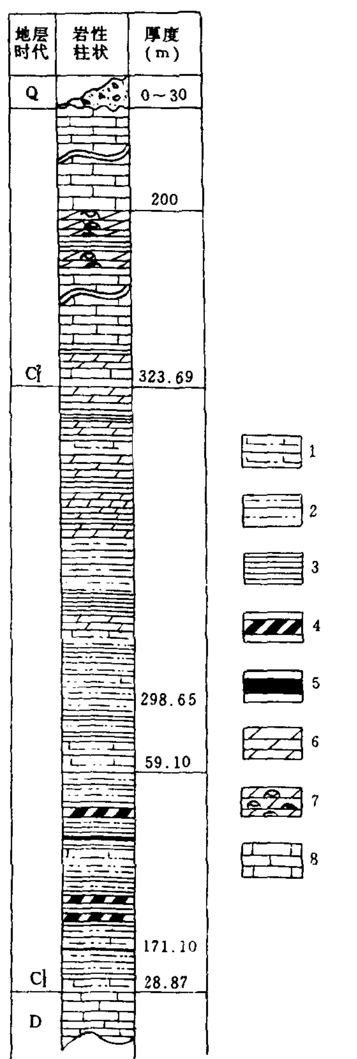


图 1－5 马查拉组柱状图

1－石英砂岩；2－粉砂岩；3－泥岩；4－炭质泥岩；5－煤层；6－泥灰岩；7－介壳灰岩；8－灰岩

育造成了良好条件。故被断层错动，使煤层与泥盆系灰岩或上段灰岩对接时可能会遇到岩溶水问题。但该区处于高寒地带，地表存在永久冻土，补给条件较差，使岩溶发育及富水程度受到了一定的限制；而且该区是新构造运动强烈上升区岩溶发育应在当地侵蚀基准面以上，兼之地形高差大，河谷切割深、地下水排泄条件好。故煤层开采时虽可能遇到岩溶水问题，但水量不会很大，其煤田水文地质条件应属简单至中等类型。

二、北方石炭二叠纪煤田

中、晚石炭世，北带大都沉没于海水之中，且活动性较强，不利于成煤。仅在西部准噶尔古陆西缘吉乃木、布尔津及塔城以南一带沉积了海陆交替相的中石炭统卡拉岗组含煤地层，由流纹岩、凝灰质角砾岩、凝灰岩夹砂岩、泥岩、灰岩及煤层组成，厚度 1400 余米。在吉乃木至布尔津一带含煤 4～7 层，分层厚度 0.3～3.99m。塔城以南含煤 3～5 层，分层厚度 0.2～1.6m。

中带（北方大陆）则与北带不同。中带自加里东运动时整体隆起为陆后，经过长期剥蚀和夷平。至早石炭世，河西走廊一北祁连地区及柴达木北缘地区开始海侵。中石炭世海浸范围进一步扩大，在河西走廊一北祁连地区堆积了羊虎沟组，在柴达木北缘堆积了克鲁克群。广大的华北地区也开始整体下沉，海水自东西两面大范围浸入，遍及整个华北，在十五个省、市、区的广大范围内普遍沉积了本溪组。本溪组、羊虎沟组及克鲁克群都属海陆交替相的含煤地层，但由于它们都是在总的海浸过程中形成的，地壳活动性较大，成煤时间极为短暂，故所含煤层均为薄煤或煤线，一般不可采，仅局部地区含有局部可采煤层。至晚石炭世、海侵范围达到最大，随后又开始缓慢的脉动式海退、大范围、长时间发育滨海环境，再加上气候、植物等因素，对聚煤作用极为有利，在广大的华北地区、河西走廊一北祁连地区及柴达木北缘地区广泛堆积了重要的含煤地层——晚石炭世太原组。在华北地区，于太原组之上又连续广泛堆积了重要含煤地层早二叠世山西组、下石盒子组及晚二叠世上石盒子组，形成了规模巨大、储量丰富的华北聚煤区。

现分区介绍如下：

（一）华北区

1．华北区石炭二叠纪煤田沉积特征

石炭二叠纪含煤地层在华北地区分布面积非常辽阔，北至阴山古陆及沈阳一和龙隆

起，南至秦岭一大别山古陆，东至胶辽古陆，西抵贺兰山一六盘山构造带，包括，河北、山西、河南、北京、天津 5 省、市的全部，吉林、辽宁、内蒙古 3 省、区的南部，山东省的中部及西部，江苏省的西北部，安徽、陕西两省的北部，甘肃、宁夏两省区的东部，形成横跨 15 个省、市、区的巨大的华北聚煤区。

这个巨大聚煤区的形成，是由其特殊的大地构造性质与地史条件所决定的。早在元古代时，华北区即已固结成地台，具有很强的刚性和整体性。在早古生代时整体缓慢下沉，普遍沉积了寒武系和奥陶系浅海相碳酸岩。加里东运动又使其整体上升为陆，经过长期剥蚀夷平后，至中石炭世又开始整体缓慢下沉，海水自东西两面呈脉动式入侵，从而在广阔的中奥陶统石灰岩剥蚀面之上普遍沉积了海陆交替相的本溪组及太原组含煤地层。晚石炭世晚期又开始整体缓慢上升，海水从东南退出，在这个缓慢海退的过程中又广泛速续沉积了早二叠世山西组、下石盒子组及晚二叠世早期上石盒子组。形成了巨大的多纪多组多层的聚煤区。

晚石炭世太原组主要由砂岩、粉砂岩和泥岩组成，间夹灰岩、煤层和少量砾岩，岩相以过渡相、浅海相和沼泽相为主，夹少量冲积相，沉积厚度 50～150m。总的趋势是北粗南细，东厚西薄。在北纬 37°30′以北，可采煤层总厚度一般大于 10m，最大厚度可达 30m 左右（山西平朔矿区），以南则逐渐减薄，至三门峡一确山一徐州一线以南，则太原组中已无可采煤层（图 1－6）

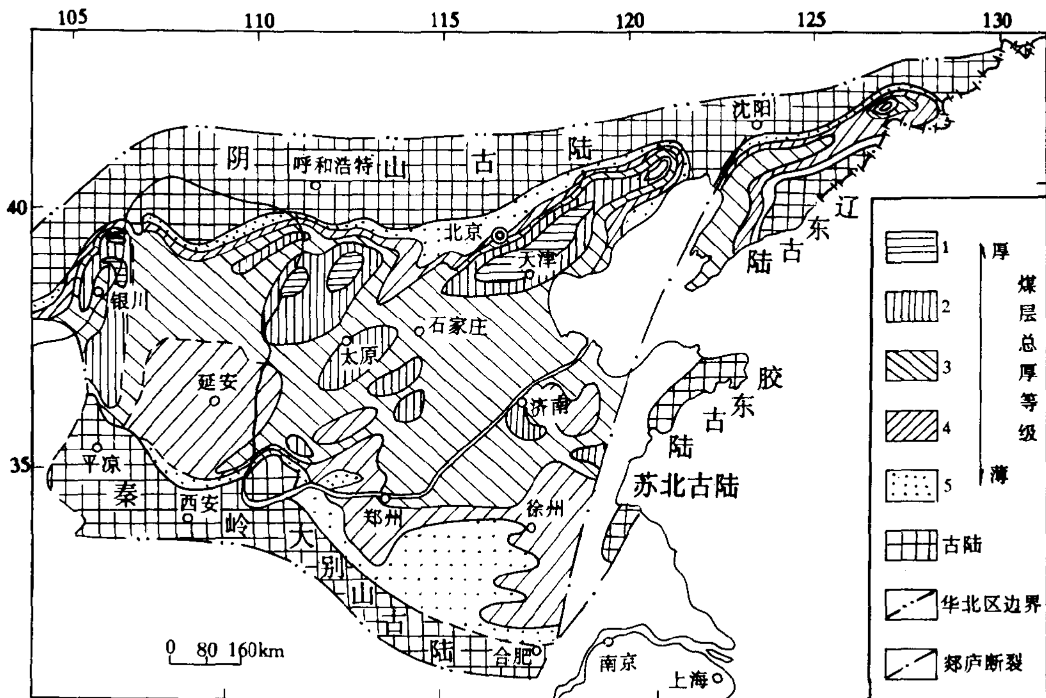


图 1－6　晚石炭世太原组煤层总厚变化趋势图

早二叠世早期山西组，岩性以砂岩、粉砂岩、泥岩为主，间夹煤层，不含石灰岩。岩相以陆相占优势，过渡相次之，沉积总厚度 40～140m ，总的变化趋势也和太原组一样是

北粗南细，东厚西薄。早二叠世早期的聚煤作用仍处于鼎盛时期，全华北区都有主要煤层赋存。沿阴山古陆南侧的贺兰山、东胜、大同、京西，南票等煤田有巨厚煤层形成，向南有逐渐减薄的趋势、北部可采煤层总厚度 3～30m，中部 2～10m，南部 0～7m（图1－7）。

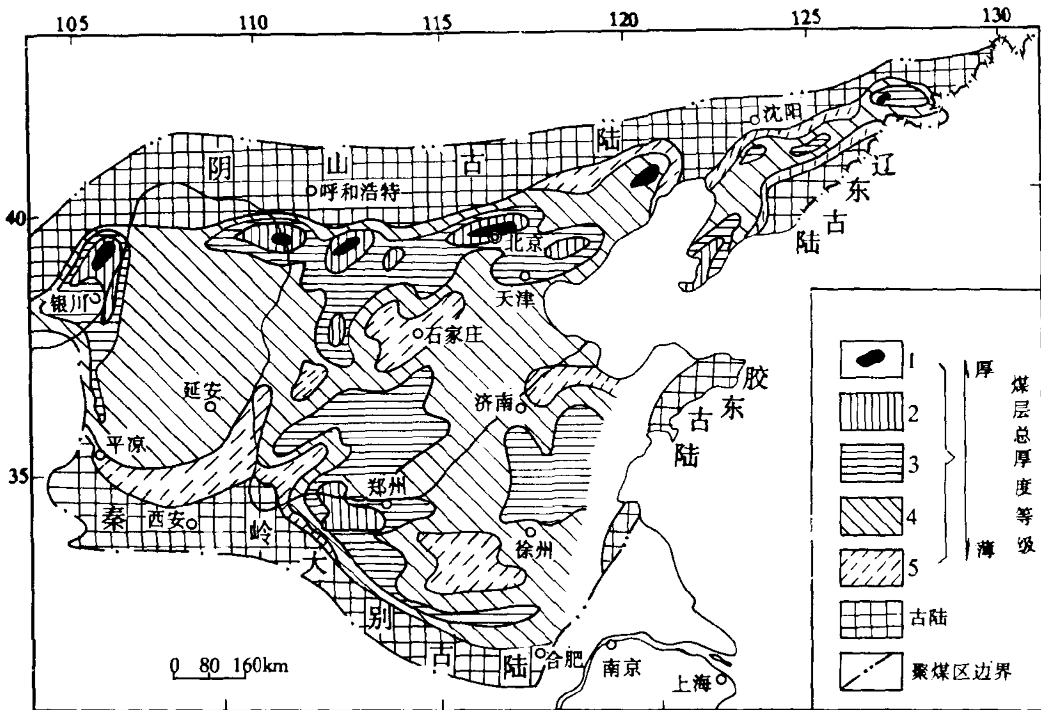


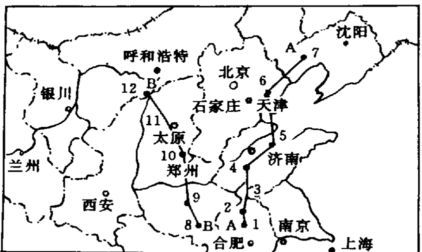
图1－7　华北早二叠世山西组煤层厚度变化趋势图

早二叠世晚期，海水已退到北纬 34°30′ 以南，陆相沉积进一步增多，过渡相进一步减少，气候也由西北向东南逐暂趋于干燥、聚煤作用已显著衰退，泥炭沼泽相主要发育在北纬 34°30′ 以南地区；以北大部分地区只含有煤线或碳质泥岩，仅在局部地区有局部可采煤层。自北而南，含煤层数增多，厚度增大，淮南煤田最佳，含煤 13～16 层，大部可采，可采总厚度 18.73m。至晚二叠世早期，海水已全部退出本区，几乎全为陆相沉积，干燥气候也继续南移，聚煤作用进一步减弱和南迁至北纬 34°30′ 以南，由北而南含煤情况逐渐变好，至淮南煤田含煤 18～21层，煤层总厚度 13.09m。上、下石盒子组总的含煤性变化如图 1－8所示。至晚二叠世晚期，本区气候已全部转为干燥，晚古生代的聚煤作用亦随之结束。

华北石炭二叠纪含煤地层的总厚度一般为 700～1000m，局部有大于 1000m 者。现按 A—A′及 B—B′两个剖面将部分煤田的柱状图列于图 1－9。

2. 华北区石炭二叠纪煤田的水文地质基本特征和规律

（1）中奥陶统岩溶含水层是本区石炭二叠纪煤田开发的主要威胁。在整个古生代期间，由于本区的大地构造具有整体升降的特点，故本区石炭二叠纪含煤地层普遍平行不整合于中奥陶统石灰岩之上，仅在阴山古陆的南缘及大别山古陆的北缘才局部超覆于下奥陶



1.淮南煤田；2.淮煤煤田；3.马坡煤田；

4.宁阳煤田；5.淄博煤田；6.开平煤田；

7.辽西煤田；8.确山煤田；9.新密煤田；

10.沁水煤田；11.太原西山煤田；

12.准格尔煤田。



比例尺：

本溪组、太原组、山西组 0 20 40 m

上、下石盒子组 0 30 60 m

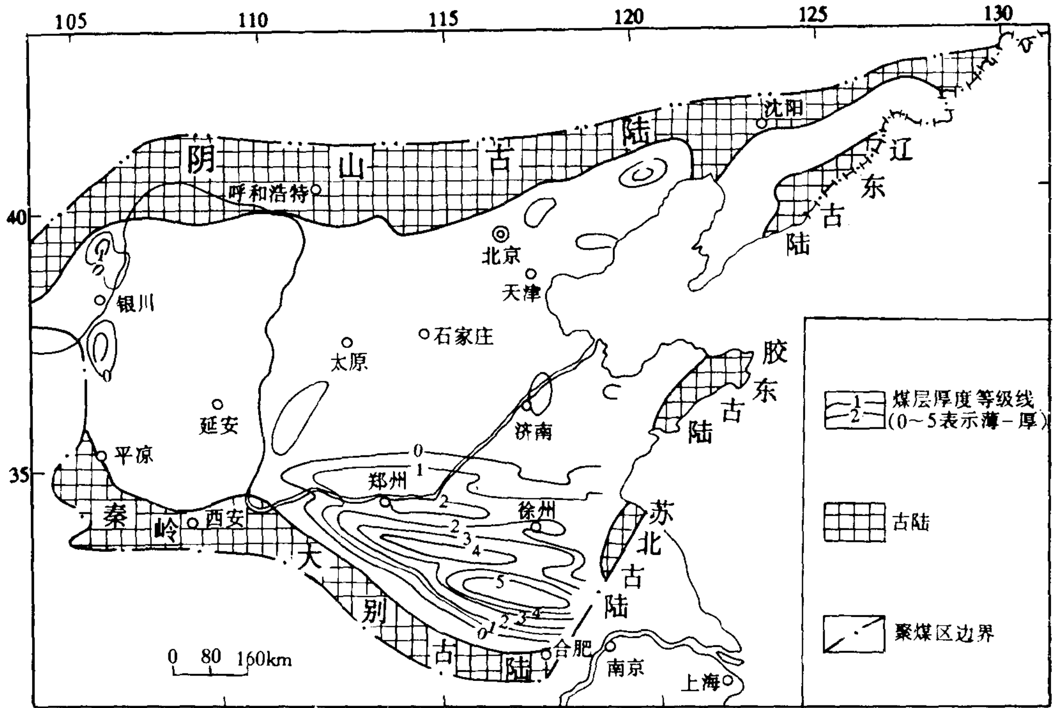


图 1-8　华北上、下石盒子组煤层厚度变化图

统及寒武系石灰岩之上。奥陶系及寒武系石灰岩由于在煤系沉积以前经历了从上奥陶至下石炭的长期沉积间断，岩溶普遍发育，尤以中奥陶统石灰岩岩溶发育更为强烈。在以后的印支、燕山及喜马拉雅各次运动中，其隆起地段和构造破坏地段岩溶发育又进一步加剧；在隆起区，石灰岩大片出露，岩溶水的补给条件也进一步增强，故华北石炭二叠纪煤田的基底普遍存在着水量丰富、含水构造规模巨大的岩溶含水层。煤层开采时，下伏高压岩溶含水层中的水往往突破采区或巷道的底板，或借助于断层、岩溶陷落柱等导水通道，大量涌入矿井，造成毁灭性灾害。例如 1935 年淄博北大井底板下伏中奥陶统石灰岩水以 $443m^3/min$ 的流量突然涌入矿井，不仅使矿井迅速淹没，而且造成 538 人死亡；1976 年韩城马沟渠矿底板中奥陶统石灰岩突水量也达 $200m^3/min$ 之多，使 380m 水平以下的井巷全部被淹；1979 年焦作演马庄矿底中奥陶统石灰岩以 $240m^3/min$ 的流量突入矿井，使全井淹没；1984 年开滦范各庄矿下伏中奥陶统高压岩溶水沿着岩溶陷落柱大量涌入矿井，10 小时内的最大平均流量竟达 $2053m^3/min$ 之多，不仅使该矿迅速淹没，而且危及临近几个矿井，至于每分钟几立方米至几十立方米的底板突水，则为数众多，无须一一枚举。现按 1986 年底以前的部分矿井的不完全统计资料，将突水量大于 $300m^3/h$ 的底板突水简况列表如下（表 1-1）：

表 1-1 华北区部分矿井奥陶系灰岩突水统计表

(只统计水量大于 $300m^3/h$ 的)

矿区	矿井	突水年.月.日	突水地点	突水量 (m^3/h)	水压 (kg/cm^2)	损失情况
开滦矿区	西北矿井	1920.2.6	七水平九层煤	6600		淹井
	林西矿	1954.12.5	四水平 23 石门	6000	14.3	七水平被淹,停产 3 个月,全井停产 12 天
	赵各庄矿	1972.3.7	九水平东一石门西风道	3162.6		八水平以下停产半年,治水费用 366 万元
	范各庄矿	1983.9.3	2176 工作面	884.8		工作面停采两个多月,埋住综采液压支架两组,损失 14.6 万元,三年排水费 207 万元
		1984.6.2	2171 工作面	123180	32.1	范各庄、吕家坨两矿淹井,林西矿停产、唐家矿赵各庄半停产治水费 4.95 亿元,死亡 11 人
井陉矿区	三矿一立井	1942	立井北 1200m 四号煤田采面	4080		淹井 16 年
峰峰矿区	一 矿	1960.6.4	1632 工作面	4212	23.0	淹井 9 年零 5 个月,治水费 1600 多万元
鹤壁矿区	九 矿	1980.12.26	123—2 工作面	4090.2		淹井 22 个月,损失 850 万元
焦作矿区	李封矿	1967.3.29	天官区东 18 大巷二横贯南	5340	19.63	淹没东 18 地区,死亡 1 人
	王封矿民有井	1973.4.15	东下 10 号巷道	1500	2.5	淹井,损失 55 万元
	马庄矿	1979				
	王封矿大井	1982.9.18	二煤西上采空区	4740		4 个区队停产
太原矿区	东山矿	1982.10.19	六斜坡下山探巷	540	11.76	淹没下山采区
淄博矿区	新博矿夏家林井	1934.9.17	斜下山底第六穿采	4800	11.6	淹井
	北大井	1935.5.13	-117m 北大巷	26580	18.1	淹井,死亡 538 人
	双山矿	1958.8.9	-145m 东西顺槽	4200	34.3	淹井,损失 2214.5 万元
	埠村一井	1975.11.12	东北石门下山南三下帮 1008 下面	837	18.7	
	夏庄二立井	1981.1.6	1085 工作面	370.6	51.93	
		1985.5.14	100 采区 1007 工作面	4006	52.0	淹没 -240m 以下所有采区,损失 1497.36 万元
	寨里矿	1984.2.3	北大井 -185 水平 102 工作面	420	30.0	停产 20 天,损失 35 万元
	龙尔矿	1984.9.6	149 工作面	1512	40.6	-145m 以下采区全部被淹
	南定矿	1984.10.1	-300m 水平南大巷	1201	33.8	淹井,损失 272.77 万元
新汶矿区	潘西矿潘东井	1964.6.4	106 工作面	10640		淹井,损失 79 万元

表 1-2 寒武—奥陶系含隔水层划分表

系	统	组	段 太行山中段	段 峰峰矿区	地层厚度(m)	岩性特征	水文地质特征	含、隔水层划分
奥陶系 O 410~1124(m)	中统 O_2 346~784(m)	峰峰组 O_2^3 70~225(m)	二段 34~134(m)	第八段	5~28	上部为缟纹状白云质灰岩，中部为白云质角砾状灰岩，底部为角砾状灰岩	强岩溶化，含溶隙溶洞水，含水性强	含水层组
				第七段	61~106	上部为厚层灰岩与花斑灰岩互层，底部为中厚层灰岩与角砾状灰岩互层	湿岩溶化，含溶隙洞水含水性极强	
			一段	第六段	36~91	上部为黄色白云质角砾状灰岩夹粘土层，中部为蜂窝状，网格状灰岩、白云岩，夹水平层理灰岩，下部为灰色角砾状泥灰岩夹页岩、石膏层	弱岩溶化，含溶隙溶孔水，含水性弱	相对隔水层
		上马家沟组 O_2^2 153~329(m)	二段 127~266(m)	第五段	46~102	上部为白云质灰岩夹石膏条带，中部为厚层灰岩与花斑灰岩互层，夹少量泥灰岩，下部为巨块角砾状灰岩及白云质角砾状灰岩	强岩溶化，含溶隙溶洞水，含水性强	含水层组
				第四段	86~164	上部为薄层微密灰岩与白云质灰岩互层，中部为厚层灰岩，含燧石结核，下部为微密灰岩与花斑灰岩互层，夹白云质角栎状灰岩、薄层泥灰岩	强岩溶化，含溶隙溶洞水，含水性强	
			一段	第三段	26~63	上、中部为灰黄至浅红色白云质角砾状泥灰岩，下部为黄缘色页岩、薄层泥灰岩互层，含石膏层	弱岩溶化，含溶隙溶孔水，含水性弱	相对隔水层
		下马家沟组 O_2^1 123~230(m)	二段	第二段	99~146	上部为灰色厚层白云质灰岩和灰黄色中厚层花斑灰岩，中夹2~3层角砾状灰岩，顶部含石膏，石膏假晶灰岩123层。中部为厚层灰岩与花斑灰岩互层，下部为深灰色厚层白云质灰岩、微密灰岩。夹泥灰岩	强岩溶化，含溶隙溶洞水，含水性极强	含水层组
			一段	第一段	11~65	灰，深灰色中厚层状泥质角砾状灰岩、灰黄色角砾泥灰岩夹蜂窝状白云质灰岩和钙质泥灰岩	弱岩溶化，含溶隙溶孔水，含水性弱	相结隔水层
	下统 64~340(m)	亮甲山组 O_1^2	0段	第0段	13~17	通称贾汪层，为一套灰、灰黄色薄层含砂质白云岩，泥质白云岩、夹纸状页岩及黄色角砾状灰岩，底部有一层稳定的灰白至粉红色岩和石英砂岩，含砾砂岩	隔水层	
					36~186	顶部为灰色、黄白色泥质白云岩夹钙质页岩，上部为灰色白云岩夹含燧石结核的团块白云岩、白云灰岩；中部为灰黄色中厚层状中细晶白云岩；下部为灰白色中厚层燧石条带中晶白云岩，局部为燧石层；底部为灰色钙质白云岩、竹叶状白云岩、泥质白云岩及页岩	强岩溶化，含溶隙溶洞水，含水性强	含水层组
		冶里组 O_1^1			28~154	上部为灰黄色细晶白云岩、钙质白云岩、竹叶状白云岩，中部为灰色厚—巨厚层状细中晶白云岩，偶见花斑；下部为灰色中晶白云岩、泥质白云岩、竹叶状白云岩；底部黄绿色钙质页岩、薄层钙质白云岩	中等岩溶化，含溶隙溶孔—溶隙溶洞水，含水性中等	相对隔水层

续表

系	统	组	段		地层厚度(m)	岩性特征	水文地质特征	含、隔水层划分
			太行山中段	峰峰矿区				
寒武系 $\in$ 284～814(m)	上统 $\in_3$ 104～261(m)	凤山组 $\in_3^f$			41～135	中、上部为灰色中厚层状灰岩及白云质灰岩，顶部有一层含薄灰岩或生物碎屑灰岩，下部为灰黄色微晶灰岩，白云质灰岩，夹黄绿色页岩、竹叶状灰岩，鲕状灰岩、泥质灰岩	强岩溶化，含溶隙溶洞水，含水性强	含水层组
		长山组 $\in_3^c$			30～69	上部为中厚层状灰岩夹薄层泥质条带灰岩，竹叶状灰岩，白云质灰岩，顶部夹有黄绿色页岩；下部为紫灰色竹叶状灰岩夹浅灰色薄层灰岩，泥质条带灰岩及黄绿色页岩，底部以一层紫红色中厚层贝壳灰岩与崮山组分界	弱岩溶化，含溶隙溶孔水，含水性弱	相对隔水层
		崮山组 $\in_3^g$			33～57	上部为灰色中厚层泥质条带灰岩、夹少量微晶灰岩和竹叶状灰岩；中、下部为灰色微密灰岩、微晶灰岩夹黄绿色页岩、竹叶状灰岩、泥质条带灰岩和鲕状灰岩	中等岩溶化，含溶隙溶孔—溶隙溶洞水，含水性中等	
	中统 $\in_2$ 118～434(m)	张夏组 $\in_2^z$			86～265	顶部为灰色鲕状白云岩及厚层含薄灰岩；上部为厚层鲕状灰岩、鲕状白云质灰岩夹薄层灰岩；中部为浅灰色厚层鲕状灰岩、豆状灰岩夹厚层灰岩，白云质灰岩；下部为厚至巨厚层块。状鲕状灰岩、花斑灰岩；底部为薄板状含泥质条带灰岩夹黄绿色页岩，以一层薄层蚕豆状灰岩为底界	强岩溶化，含溶隙溶洞水，含水性极强	含水层组
		徐庄组 $\in_2^x$			32～169	顶部为灰色中厚层鲕状灰岩；上部为中厚层灰岩、鲕状灰岩夹页岩、石英砂岩、砂质泥灰岩；中、下部为紫色绢云母页岩夹薄板状灰岩、鲕状灰岩及细砂岩	隔水层	隔水层
	下统 $\in_1$ 62～119(m)	毛庄组 $\in_1^{mz}$			23～63	顶部为灰白色薄层白云质灰岩或结晶灰岩；中部为泥质白云岩、薄层鲕状灰岩、竹叶状灰岩；下部为浅黄至鲜红色绢云母页岩及粉砂岩	隔水层	
		馒头组 $\in_1^m$			29～56	顶部为一层灰白色薄层状泥质灰岩；上部为紫红色页岩与薄层泥灰岩、白云岩互层；中部为灰黄色泥灰岩与与互岩互层；下部为紫红色页岩夹薄层泥灰岩、白云岩及含燧石结核的粉砂质白云岩互层；底部有一层含砾粗砂岩、砾岩或粗粒钙质石英砂岩	隔水层	

本区中奥陶统为一含有多个含水层的隔水层的复杂的碳酸岩系。厚度大、分布广，岩性稳定，广泛出露于各煤田的边缘及外围，构成一系列的大、中型自流盆地、自流向斜或单斜以及各种复杂的岩溶水系统。地下水资源非常丰富，在排泄区常以泉群形式出露，为本区工农业用水提供了大量的宝贵资源。

在本区中部的石家庄、井陉、阳泉一线，中奥陶统厚度为 640～784m，向南、向北逐渐减薄，南至大别山古陆北缘的洛阳、许昌一线；北至阴山古陆南缘的准格尔煤田，中奥陶统已全部缺失，上古生代含煤地层直接伏于下奥陶统以至寒武至之上。在本区东部的淄博、新汶一带，中奥陶统厚度达 800～850m，向南、向北亦逐渐减薄。在本区西部，韩城矿中奥陶统厚 340～400m ，向西逐渐增厚，至跃西矿区，中奥陶统厚度达 927m。

中奥陶统自下而上可分为下马家沟组、上马家沟组及峰峰组（表 1－2)。在铜川矿区及其以西，则在峰峰组之上还赋存有平凉组。根据其岩性、岩相及生物化石组合，每组又可分为 2～3段。在中奥陶统发育较全、研究程度较高的峰峰矿区，该统自下而上可分为三组九段。其中第二、四、五、七、八段为含水层段；第 0、一、三、六段为相对隔水层段。故从水文地质观点可划分为 3 个含水层组及 3 个相对隔水层组，第二段为第一含水层组，第四、五段为第二含水层组，第七、八段为第三含水层组；第 0、一段则为第一相对隔水层组，第三、第六段分别为第二、第三相对隔水层组。

中奥陶统中相对隔水层的存在，无论对于其上覆石炭二叠系煤层的开采，或对于矿区供水，都具有非常重要的意义。对于前者，奥灰顶部层位的含水性最关重要；对于后者，则位于相对隔水层以下的含水层，不易受矿井排水的影响，较为可靠。

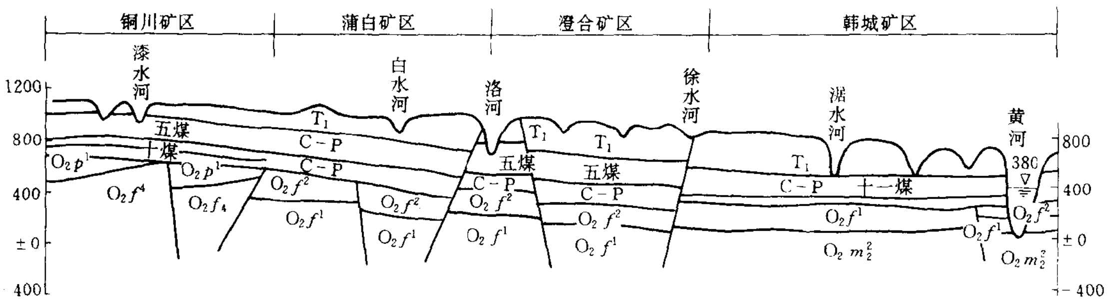


图 1－10 渭北煤田走向剖面示意图

随着煤系基底所接触的奥灰层位的不同，煤田的水文地质条件亦有显著差异。例如渭北煤田（图 1－10)，在桑树坪区的东部，与上伏石炭二叠系相接触的奥灰顶部层为峰峰组第二段（即奥陶系）第七段，属中奥陶统第三含水组。 1976 年 5 月 9 日该区的原皮带斜井揭露此层时，涌水量达 1000m^3/h，迅速将该井淹没。后将斜井位置移在峰峰组第一段即中奥陶第六段（中奥陶统第三相对隔水组）中掘进，水量就很小了。韩城矿区缺失中奥陶第七段煤系与第六段接触，其水文地质条件应相对简单，该区的马沟渠井 240 主石门在第六段中掘进时，水量也很小；但由于当时对奥灰的含水层位还不了解， 1976 年 8 月 6 日 240主石门揭露了上马家沟组第二段，即中奥陶第五段（中奥陶统第二含水组），水量

猛增至 12000m³/h，平均涌水量 5956m³/h，迅速将该井 380 水平以下的巷道和采区全部淹没，人为地将该井的水文地质条件复杂化了。澄合蒲白矿区的奥灰顶部又保存了中奥陶第七段，奥灰与上伏煤系之间无相对隔水层，其水文地质条件比韩城矿区要相对复杂。再往西至铜川矿区，则在峰峰组之上又增加了平凉组隔水层，而且地势较高，奥灰水位很深，使奥灰水对上伏煤层开采难以为患。

在峰峰、邢台、井陉、潞安、晋城、鹤壁等矿区，与石炭系直接接触的奥灰顶部层位为峰峰组，开采太原组煤层时，峰峰组含水层能直接造成煤矿底板突水，成为直接充水含水层；而上马家沟组的第四段、第五段，以及下马家沟组的第二段，则只能借助于断层或其他途径间接向矿井充水或补给峰峰组，成为间接充水含水层。

在焦作矿区，则缺失峰峰组，故开采太原组煤层时，上马家沟组能成为直接充水含水层，而下马家沟组仍为间接充水含水层。

直接充水含水层决定着矿井突水量的大小，而间接充水含水层则决定着直接充水含水层的补给来源及矿井涌水量的稳定性与疏干的难易程度。

在北纬 34°30′以南的豫淮坳陷，则奥灰厚度减薄，水量也减小。至临汝、禹县、登封、平顶山等矿区，则已缺失奥陶系，石炭二叠系直接起伏在寒武系之上，寒武系灰岩溶化程度一般较弱，水量较小，故豫淮坳陷的煤田水文地质条件一般要比北纬 34°30′以北的煤田较为简单。

(2) 石炭系中多层石灰岩含水层是本区晚古生代煤层开采的第二大威胁。本区中、上石炭统属海陆交替相沉积，本溪组和太原组中均含有多层薄至中厚层石灰岩。这些石灰岩多已强烈岩溶化，富含溶隙溶洞水，且往往通过断层错动、岩溶陷落柱或未封闭的勘探钻孔与下伏中奥陶统岩溶含水层有密切的水力联系。这些灰岩含水层多位于煤层的底板或顶板，距煤层很近。煤层开采时，这些灰岩含水层中的水，有的将被巷道直接揭露而进入矿井，有的将突破采区或巷道底板而进入矿井，不同程度地威胁着矿井的安全，甚至造成矿井淹没或部分淹没，成为本区晚古生代煤层开采的仅次于中奥陶统岩溶含水层的第二大威胁

中石炭世时，海浸方向是由东向西，海退则是山西向东，故本溪组中所含灰岩层数及厚度由东向西逐渐减少减薄以至完全缺失（图 1－11）。灰岩层数较多较厚的地区仅限于天津、济南、徐州一线以东。在山东省的淄博、肥城一带，及河北省的井陉矿区本溪组中以徐家庄灰岩（井陉矿区称为厚灰）厚度较大（5～20m），岩溶较发育，且与中奥陶统岩溶含水层有密切的水力联系，因而含水较富，对其上的太原组煤层开采威胁较大。据淄博矿区 96 次底板突水资料分析，属于徐家庄岩突水的有 54 次，占突水总次数的 56.25%。现将淄博、肥城新汶井陉矿区截至 1986 年底以前徐家庄灰岩突水水量在 5m³/min 以上的突水资料列于表 1－3。

太行山以西的山西省各矿区，本溪组的含灰岩层数少、厚度薄，不足为患。徐州一邯郸一线以南，吕梁山以西，则本溪组中缺乏灰岩沉积。

上石炭统太原组是本区的主要含煤地层之一，也是本区水文地质条件最复杂的含煤地层。其水文地质条件的复杂性表现在两个方面：

①太原组是本区晚古代煤田中最下面一个具有重要经济价值的含煤地层，距中奥陶统岩溶含水层最近，二者之间仅隔有 20～60m 的本溪组，对于承受奥灰水的威胁，它是首

当其冲。在鲁中及冀中地区，本溪组中还含有富水性较强的徐家庄灰岩及草铺沟灰岩，更增加了对开采太原组煤层井巷的威胁。

②太原组属海陆交替沉积，煤系中夹有多层石灰岩，多位于各煤层的顶板，或被夹在上、下两个煤层之间。这些灰岩，岩溶化较强，含水较富，且往往与下伏奥灰含水层有密切的水力联系，开采太原组煤层时，这些灰岩就成为对井巷直接充水的含水层。

表 1-3　本溪组徐家庄灰岩突水统计表

（只统计水量大于 $300m^3/h$ 的）

矿区	矿　井	突水年. 月. 日	突 水 地 点	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/h)	损 失 情 况
淄博矿区	新博矿区蒋家山井	1931	井底大门附近遇断层	576	8.6	淹　井
	夏庄矿兴大五号井	1942.6.21	十层二炭巷道	421	6.2	淹　井
	夏庄矿一立井	1958.10.28	180 下山西二 10—2 煤工作面	330	19.1	淹采区
	夏庄矿一立井	1980.1.1	兴大 190 下山 1093 工作面	376	14.0	
	湖田边河井	1975.7.2	三号断层	5100	6.0	淹　井
肥城矿区	大封矿	1969.6.29	9204 工作面	1628	10.6	全矿停产 13 天，半停产半年，治水费用 158.28 万元
		1977.9.7	9405 工作面	612	10.8	
		1977.11.10	9405 工作面	345.6	10.8	
		1986.4.25	11204 下面	2035	9.5	全矿停产 3 天，直接损失 80 万元
	陶阳矿	1971.7.5	9902 工作面	556	6.6	
		1971.10.11	9901 工作面	1083	6.0	淹没整个 9900 采区，损失 200 万元
		1985.8.6	9507 工作面	17940	11.0	淹没中一井，停产半年，中三井停产两月，损失 2611 万元
	杨庄矿	1985.4.1	9101 工作面	614	8.49	
		1985.5.27	9101 工作面	5237	9.2	淹井，损失 2001.5 万元
	家庄矿	1993.1.5	-2100m 北大巷	32970		同时突出岩块、泥砂 $16518m^3$，全井被淹
新汶矿区	华丰矿一号井	1960.6.11	-5m 水平 1601 工作面	600	13.0	停产 3 天
	华丰矿二号井	1964.1.13	-90m 水平 16 层西大巷	3498	16.2	损失 140 多万元，压煤 306.5 万 t
		1964.9.29	-90m 水平 15 层东平巷	7860	15.8	
井陉矿区	一　矿	1966.6.23	新巷八马路下山	510	18.8	
		1966.7.15	贾庄南区 9705 工作面	546	25.3	
	三　矿	1932.8	五煤底板	540	8.0	
	四　矿	1959.9	南井沟七一斜井底	300		
		1974.9.6	较场北区五煤运输巷	756	11.3	

以上两个方面交织在一起，相辅组成，互相促进，形成了太原组水文地质条件的复杂性。本区历年来所发生的几百次突水和淹井事故，大多发生在开采太原组煤层的井巷中。

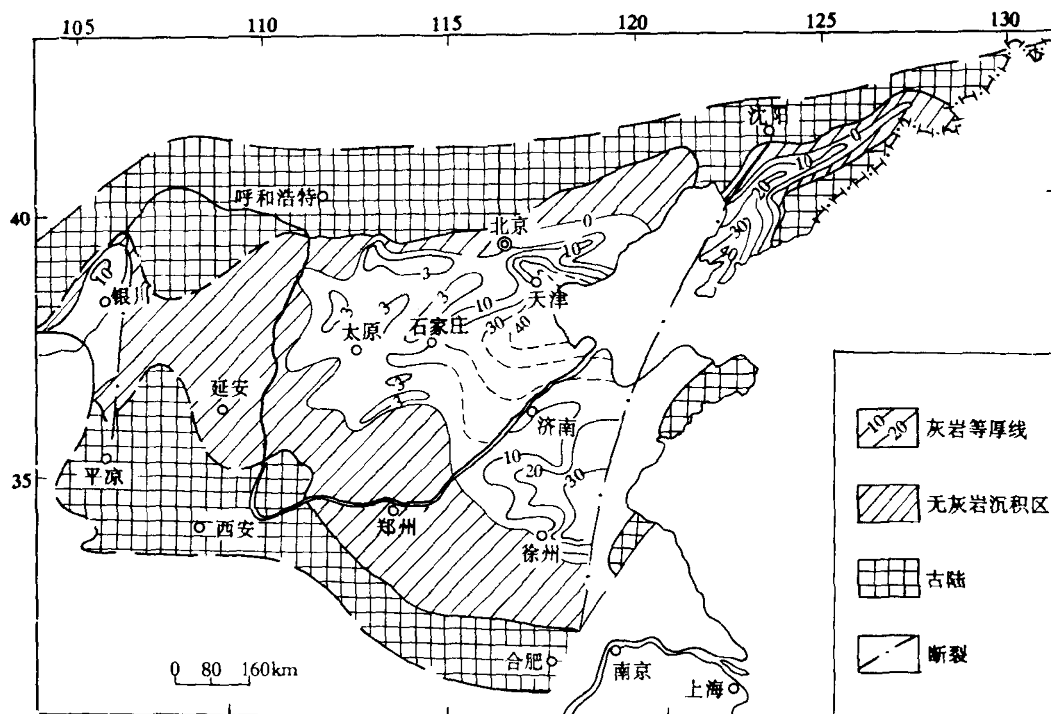


图1－11　本溪组中灰岩厚度变化状况图

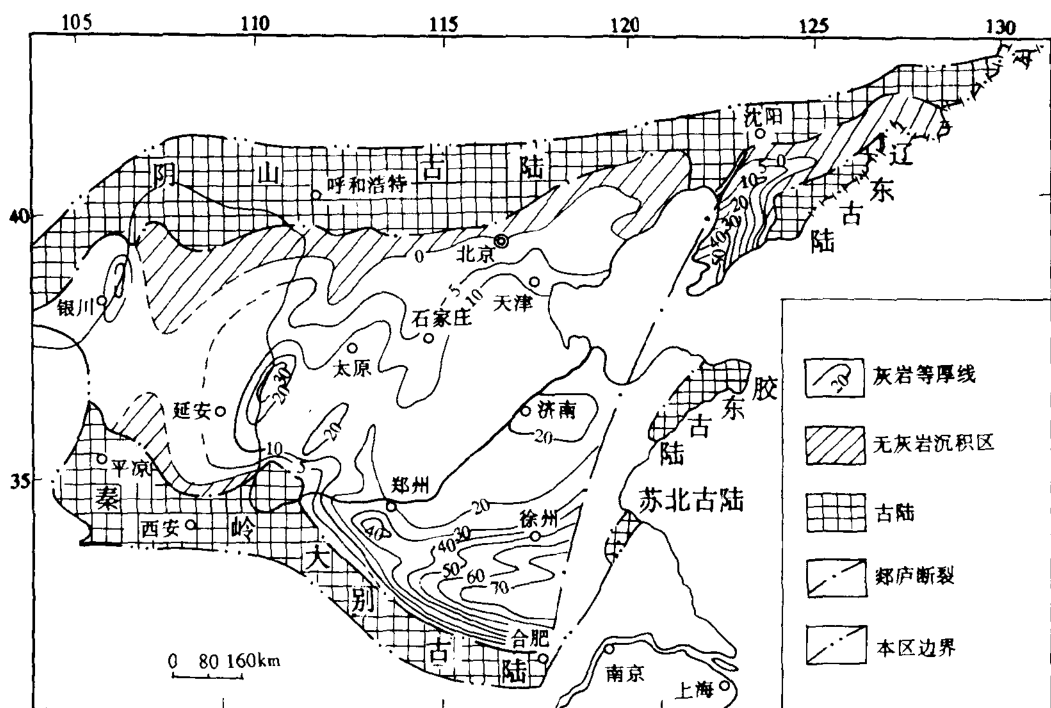


图1－12　太原组中灰岩厚度变化状况图

迄今为止，太原组中还有大量煤炭资源未敢开发。

由于本区晚石炭世时，海侵方向是由东南向西北，海退方向则是由西北向东南，在这种多次海水进退中所沉积的太原组中灰岩的层数及厚度亦由东南向西北逐渐减少减薄（图1－12），煤层则由南向北逐渐增厚（参阅图 1－6）。故太原组的水文地质条件亦有南北差异。

南部：在郑州一徐州一线（约北纬 34°30′—37°30′）以南，太原组以海相沉积为主，所含灰岩层数多（10～13 层）、厚度大，约占太原组沉积总厚的 60％，但煤层发育不良，基本上无重要可采煤层。太原组中所含灰岩只对其上覆的山西组及下石合子组中的煤层开采起充水作用，对于太原组自身的煤炭资源开发已无意义。

中部：指位于郑州一徐州一线以北，石家庄一太原一线以南的地区（约介于北纬 34°30′—37°30′之间）。太原组中含有多层重要的可采煤层，成煤环境属滨海平原型，煤系沉积为海陆交替相，夹有多层薄至中厚层石灰岩，多位于各煤层的顶板。这些灰岩，岩溶发育，且通过断层错动与奥灰有水力联系，不仅是开采太原组煤层的直接充水含水层，而且还往往导致开采山西组煤层的井巷底板突水。

在太行山东、南麓，太原组中水量较大的是二灰和八灰。峰峰矿区二灰（大青灰岩）厚 1.25～10.8m，一般 5～6m，为太原组 8 号煤顶板，距奥灰 20～40m，钻孔单位涌水量最大可达 57.61L/s.m，是开采太原组 7、8、9 煤层的直接充水含水层。峰峰矿区共发生二灰突水 23次，水量小于 $6m^3/min$ 的 18 次，$6～20m^3/min$ 的 4 次，大于 $20m^3/min$ 的 1 次。

鹤壁矿区二灰厚 7～8m，最大溶洞直径大 2m，下距奥灰平均间距 36m，是开采太原组$一_1$ 及$一_2$ 煤的直接充水含水层。八灰厚 0.54～9.44m，一般 4m 左右，上距山西组大煤 20～55m。1961～1985 年开采山西组大煤共突水 7 次，一次突水量 $2.5～43.1m^3/min$。

焦作矿区二灰厚 12～20m，为三煤（$一_2$ 煤）顶板，上距二煤（$一_5$ 煤）20m，下距奥灰 20m，矿井突水淹井 5 次，淹采区 4 次，突水量 $59～24m^3/min$。八灰厚 6～8m，上距山西组大煤 20m，全区 11 对生产矿井的八灰总涌水量达 $260m^3/min$。突水淹井 7 次，淹采区 9 次，一次突水量 $10～70m^3/min$。

在山西霍县矿区，以 K_2 灰岩为主要含水层，是太原组 9 号煤层的直接顶板，下距奥灰 30m 左右，是开采太原组 9、10、11 号煤的直接充水含水层。生产矿井共发生 K_2 灰岩突水 5 次。1976 年 2 月 28 日，483 大巷在 K_2 灰岩上面 18m 掘进时，水压 $4kg/cm^2$，突水量 $7m^3/min$。

在山东及苏北各矿区，太原组中含水性较强的灰岩为一、二、四、五灰。在济东矿区为一、二灰，单层厚度 1.7～2.1m。华村煤矿西井 －85 石门穿过该两层灰岩时，一灰水量 $2～2.5m^3/min$，二灰水量 $1.5～2.0m^3/min$。在济西与黄河河北煤田为四、五灰，四灰厚 0～4m，五灰厚 0～7.2m，钻探时严重漏水，其中 420 号孔于 －288.2m 处见有 1.05m 的溶洞。在肥城矿区为一、二四灰，南高余矿斜井 1975 在 －50m 遇一灰，水量 $1.9m^3/min$，1977 年在 －80m 遇一灰，水量 $16.8m^3/min$，矿井被淹；1960 年大封矿副井见二灰，水量 $4.7m^3/min$；平阳矿井下对四灰放水，单孔水量 $3.0m^3/min$。

至西部的渭北煤田，太原组中灰岩已减少至只有 1～2 层薄层灰岩，且不含岩溶水，

对煤矿充水无甚影响。但该煤田本溪组已减薄以至完全缺失，太原组主要可采煤层（11号煤层）下距奥灰仅10～20m，是其不利条件。

北部：指石家庄—太原一线（约北纬37°30′）以北的地区。太原组以碎屑沉积为主，只有少量薄层灰岩或完全不含灰岩。太原组中以砂质岩层中的裂隙水为主，不含岩溶水。开采太原组煤层的唯一威胁是下伏奥灰高压岩溶水有可能通过断裂错动或岩溶陷落柱突入矿井。但总的说来，北部太原组的水文地质条件比起中部来要相对简单。

(3) 本溪组的厚度及岩性对煤田的水文地质条件起着重要作用。本溪组虽然一般不含可采煤层（除本溪煤田及石炭井煤田的呼鲁斯太区外），但开采太原组煤层时，在正常情况下奥灰岩溶水须突破本溪组才能进入矿井。同时，本溪组中也含有多层灰岩，其岩溶化程度及含水性如何，也对矿井充水起着直接作用。因此，研究本溪组的厚度、岩性及其变化情况，对于研究和了解华北石炭二叠系煤田的水文地质条件，具有非常重要的意义。

本溪组的沉积厚度及岩性组成受中石炭世时的古地理条件所控制。本区中石炭世时的古地势是西高东低、南高北低，故本溪组的沉积厚度总趋势是东厚西薄、北厚南薄（图1－13）。

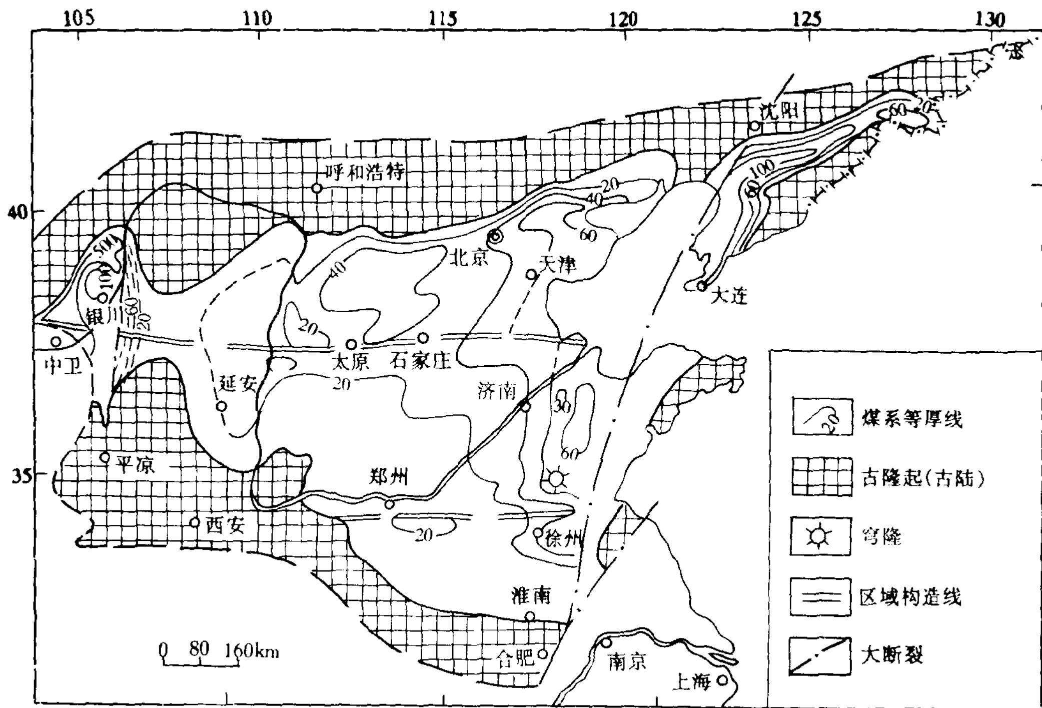


图1－13　本溪组的沉积厚度趋势图

在本溪煤田，本溪组自下而上可分为三部分：下部为紫色泥岩夹粘土矿，厚约15m；中部为黄色砂岩、砂质泥岩夹透镜状灰岩，含薄煤及煤线4～10层（可采1层），厚约75m；上部为黄色泥岩、细砂岩，夹石灰岩，厚约55m。

在华北中部，本溪组可分为上、下两部分：下部为紫色铁铝岩及不稳定的“山西式铁

矿”和菱铁矿层，局部地区有底砾岩；上部为细砂岩、粉砂岩、泥岩夹灰岩或泥灰岩，含薄煤1－2层(不可采)。

近古陆边缘，岩性普遍变粗，底砾岩甚为发育，不含灰岩。从豫淮坳陷往西北直至鄂尔多斯盆地的广大地带也都无灰岩沉积。

本溪组中所含灰岩层数及厚度，由西向东逐渐增多增厚（图 1－12)。其中除了鲁中的淄博、济东、黄河北、肥城、新汶以及河北的井陉等煤田中的徐家庄灰岩厚度较大(5～20m)，岩溶较发育，且与奥灰水有联系，因而含水较富，常造成矿井底板突水外，其余均含水甚微，不足为患。

从总体上看，本溪组是一个相对隔水层组，这对于太原组及山西组煤层的开采是一个非常有利的条件。当本溪组的厚度和强度足以抵抗奥灰岩溶含水层的水头压力时，奥灰水就难以直接进入矿井。而只有借助于断层、陷落柱等导水通道才能向矿井充水，或者通过断层补给石炭系灰岩含水层然后间接向矿井充水。但这些通道毕竟是局部的、有限的，而且是可以防治的。这正是本区东部和北部许多矿区尚能比较安全地开采太原组煤层的基本条件。

当矿井开采深度较大，奥灰水的水压较高，而本溪组的厚度又较薄时，则奥灰水就会突破上覆隔水层而进入开采太原组煤层甚至进入开采山西组煤层的矿井。太行山东、南麓的邢台、峰峰、鹤壁、焦作以及河南的荥巩、山西的霍县等煤田都是如此。在这些矿区的许多矿井或区段，必须采取降低奥灰水压，使其不超过本溪组的抗压能力，或采取其他有效的防治措施，才能安全开采太原组煤层。

(4) 本区煤田水文地质条件存在着明显的垂直分带与水平分带性。由于本区晚古生代时期海水进退的总趋势是：中石炭世时海水自东向西推进，晚石炭世时又逐渐向东南退缩，早二叠世时海水已完全退出本区，全部上升为陆。煤系中所含灰岩层数及厚度，亦由下至上、由东南至西北逐渐减少减薄以至全为陆相沉积。这一古地理变迁特征，决定了本区煤田水文地质条件亦存在着明显的垂直分带与水平分带规律。

在垂直方面：

太原组与下伏奥灰岩溶含水层之间仅隔有 20～60m 的本溪组，开采太原组煤层时，下伏高压岩溶水往往能突破本溪组隔水层或通过断裂大量流入矿井。且太原组的聚煤环境属滨海平原，又经历多次海水进退，故煤层顶板之上及底板之下多有薄层及中厚层灰岩。本溪组中也有多层灰岩，这些灰岩都不同程度地含有岩溶裂隙水，且往往通过断裂与下伏奥灰水有密切的联系，给煤层开采造成很大的困难，使许多矿区太原组中大量煤炭资源难以开发。

山西组基本为陆相沉积，不含灰岩，煤矿充水水源一般以煤系中的砂岩裂隙水为主，水量一般不大。但在部分矿区由于煤层至下伏灰岩含水层之间的相对隔水层的厚度较薄，下伏含水层的水压较高，或由于存在导水断裂或导水的岩溶陷落柱，致使下伏岩溶水大量涌入矿井。但总的说来，其水文地质条件要比太原组相对简单。

上、下石盒子组均为陆相含煤地层，距下伏灰岩又很远，不存在岩溶水问题，煤层开采的主要充水水源为砂岩裂隙水，水量不大，水文地质条件比较简单。

在水平方面，可分为南部、中部和北部三大带：

本区东南隅一淮南、淮北、永夏、确山一带，在晚石炭世时为滨海一浅海环境，沉积

旋回厚度小而数目多，灰岩所占比例大（约占太原组总厚的 60%），煤层层数多而薄，多不可采。主要含煤地层为山西组及石盒子组，可采煤层距奥灰很远，奥灰水一般不能直接威胁煤层开采。其主要水文地质问题，一是巨厚的新生界含水层直接覆盖在煤层露头之上，二是太原组薄层灰岩的含水性及其与奥灰水的联系程度。水文地质条件一般不很复杂。

此带以北至太原—石家庄一线（约北纬 37°30′）以南之间的地区，则在晚石炭时为滨海平原聚煤环境，太原组中含有重要可采煤层。其最下一个可采煤层距下伏奥灰仅隔有 20～60m 的本溪组，且太原组及本溪组中均含有多层灰岩，与下伏奥灰往往有密切的水力联系。煤层开采时，奥灰水以及太原组、本溪组中的灰岩水，极易大量涌入矿井，屡屡造成矿井淹没，并使太原组中大量煤炭资源难以开发。华北区水文地质条件最复杂的煤田都集中于此带。

太原—石家庄一线以北，则本溪组一般较厚（40～80m，兴隆煤田达 230m），且含灰岩较少，太原组中的灰岩也很少、很薄，或者不含灰岩。太原组及本溪组的本身不存在岩溶水问题，下伏奥灰水也一般不易直接威胁矿井，故本带的煤矿底板突水及淹井次数要比本带以南的华北中部区少得多。虽然 1987 年开滦范各庄矿曾发生过震惊世界的特大突水，但这只是在遇到了导水陷落柱的特定条件下的特殊情况，不宜以此代表一般。总的说来，本带的煤田水文地质条件比起华北中部地区来还是要相对简单些。

（5）后期构造运动对本区煤田水文地质条件起着重要的改造作用。印支运动使本区东部隆起，西部相对下降，并在 43°30′以北的广大地区产生一系列的以北东向为主，以近东西向为辅的断裂及块状升降运动；在 43°30′以南的豫坳陷则产生一系列的以近东西向为主的隆起、凹陷和断裂。从而破坏了本区在整个古生代期间长期保持的整体升降的局面，而代之以升降幅度和规模各不相同的大、中型断块群和宽缓褶皱群。燕山运动又进一步在本区产生一系列的以北北东向为主，以北西向为辅的断裂及断块运动，使本区的分割局面进一步加剧。在隆起区，石炭二叠系遭受剥蚀，奥陶系大量裸露以至缺失。使原来分布辽阔而平坦的奥陶系灰岩含水层石炭系中薄层灰岩含水层及二叠系中的砂岩裂隙含水层分割成为许多大、中型自流盆地、自流向斜及单斜。而且在每个盆地、向斜或单斜的内部又分布着许多大、中、小型断层，使各含水层之间发生水力联系。

在构造上升地段，使本来隐伏在煤田底部的奥陶系灰岩及石炭系灰岩得以裸露地表，接受降水及地面水的充沛补给，地下水交替强度剧烈，岩溶化程度进一步加剧。对浅部及中深部煤层开采造成了不利条件，对矿区供水则又是有利条件。在构造下降地段，由于其补给条件极差，地下水长期停滞，岩溶不但难以继续发展，反而能在以后的漫长年代中逐渐被高矿化度的地下水中的沉淀物及顶板岩层的崩落物所充填，使岩溶化程度大大减弱甚至有所“治愈”。这些煤田（或井田）水压很高，但水量却较小。

由于地质构造几经变动，使地下水的补给、迳流、排泄条件均多次发生改变，岩溶系统也多次受到改造。原来比较统一的由西向东的古岩溶系统，被构造分割和阻截，被改造成许多彼此孤立或半孤立的各具特色的新的岩溶系统和子系统。每个系统都有各自的补给区和排泄区，各自的补给方式和排泄方式。有比较分散的地下迳流，也有集中的强迳流带。岩溶特征既有比较广泛分布的溶孔、溶隙，也有比较大型的溶洞和暗河。总之，后期构造变动使本区的岩溶化程度更加剧烈，岩溶系统更加复杂化。

从防治水的角度来看，断层切割既是一个不利条件，也有时是一个有利条件。断层错动可使岩溶含水层与煤层直接对接，或使岩溶含水层至煤层间的距离大大缩短，使煤矿突水的危险性进一步加剧。断层还能沟通各含水层之间尤其是煤层顶、底板炭岩与奥灰之间的水力联系，使煤田水文地质条件复杂化。另一方面，断层错动又往往能形成四周封闭或近似封闭的地堑式或地垒式断块，使本来分布很广、水量很大的岩溶含水层切割成四周不连续的断块，从而使地下水补给条件差，交替强度弱，以贮存量为主，易于疏干或降压，给煤矿开采造成有利条件。

喜马拉雅运动使太行山以西上升为晋陕高原，以东则下降为黄淮平原，并沉积了较厚的新生代松散地层。位于二者之间的太行山东南麓则为丘陵地带。三者的煤田水文地质条件存在着显著的差异。晋陕高原的奥灰水位一般很深，可达200～300m，有相当一部分煤层位于奥灰水位以上，或虽位于奥灰水位以下但所承受的水压不高，在浅部煤层开采时，一般不至有底板突水的危险（除霍县煤田外）。位于黄淮平原的煤田则奥灰水位很浅，甚至高于地表，煤层底板所承受的水压很高，当底板隔水层厚度较薄时，就有底板突水的危险，但其补给条件较差，水量不会很大。建井时还必须通过较厚的新生代松散地层及含水层，须采用特殊凿井法（例如冻结法、钻井法等），而且井筒容易产生破坏、不易维护。煤层开采时浅部须留设大量的护顶煤柱，以防止新生界的水和砂大量涌入矿井。须采取特殊的措施才能缩小煤柱，减少煤炭资源的损失。位于太行山东南麓及燕山南麓的煤田，则以补给、迳流、排泄条件好，下伏岩溶含水层水量丰富、水位较浅、断裂较多为特征。煤层开采时往往发生大量突水甚至淹井。突水次数最多的焦作煤田，突水量最大的开滦煤田，以及受水威胁严重的峰峰煤田、邢台煤田、鹤壁煤田等都位于本区。其次是本区的地表水流往往与煤田地下水有密切的联系，煤层开采时还可能发生地表水灌入矿井之虞。

（二）祁连区

本含煤区的范围，北抵阿拉善古陆南至柴达木古陆，东抵贺兰山一六盘山构造带，与华北含煤区毗连，西至敦煌古陆。内含北祁连一河西走廊及柴达木北缘两个含煤坳陷。横跨宁夏的西部，甘肃的中部及西部，青海的北部三个省区。

中、晚石炭世时，本含煤区的海陆分布情况大体与早石炭时相同（参阅图1－2)。但海浸范围有所扩大，中祁连陇西高原有所缩小。河西走廊一北祁连浅海与华北海连成一片，并沉积了与华北区本溪组及太原组相当的海陆交替相含煤地层。

羊虎沟组整合于靖远组之上，其层位与华北的本溪组大致相当。除在靖远磁窑有局部可采煤层外，在景泰黑山、山丹花草滩、玉门东大窑等地也偶夹不甚稳定的可采煤层1～2层，层厚0.54～3.18m。在宁夏碱山地区含煤10余层，总厚12.1m。上述各地的煤层结构都很复杂，硫分及灰分均较高。

至晚石炭世，本区海水较浅，进退频繁，海相、过渡相和陆相的沉积环境交替出现，有利于煤的形成，故河西走廊一北祁连地区的太原组含煤性较好，分布也比较广泛（图1－14)。本区太原组沉积厚度的变化趋势为东段和西段厚而中段薄。如西段酒泉石炭沟厚300余米，中段山丹、武威、张掖等地厚100～200m，其中民乐扁都口小于50m。东段景泰黑山厚约350m，至宁夏中部一带厚度近400m。但在局部地点显著变薄，如靖远磁窑不足42m，川口一带则完全缺失。

在山丹平坡一东水泉矿区，太原组中含煤15层，可采6层，单层最大厚度12.7m,

一般为0.4～0.7m（图1－15）煤种为气肥煤至焦煤。在九条岭矿区含煤6层，可采3层，单层最大厚度为3.07m，一般1.11～2.09m。煤种为无烟煤。武威红水矿区含煤20余层，可采4层。单层厚1.1～2.34m。

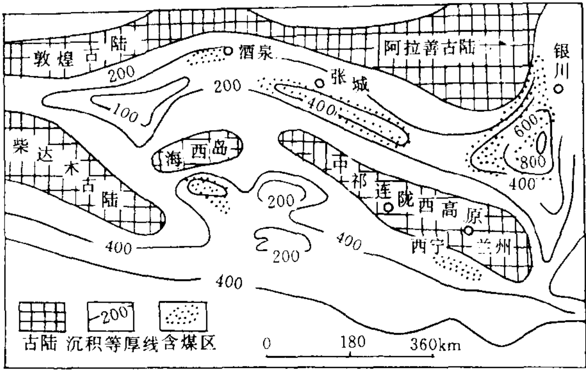


图1－14 祁连区中、晚石炭世沉积厚度及含煤区分布略图

柴达木北缘含煤区位于柴达木盆地的北缘，包括怀头他拉、旺尕秀、牦牛山等地。中石炭世克鲁克群整合于早石炭世怀头他拉组之上属海陆交互相含煤地层。以怀头他拉石灰沟含煤性较好，共含煤20层，可采者7层，总厚4.75m。怀头他拉南山含薄煤6层，旺尕秀含薄煤3层，至牦牛山只含煤1层。各地煤层均不稳定。晚石炭世太原组亦为海陆交互相含煤地层、分布于怀头他拉、旺尕秀一带。石灰沟含煤8层，可采5～7层，多为薄煤层，局部可达2.5m厚。旺尕秀含薄煤13层，可采9层，煤层均不稳定。

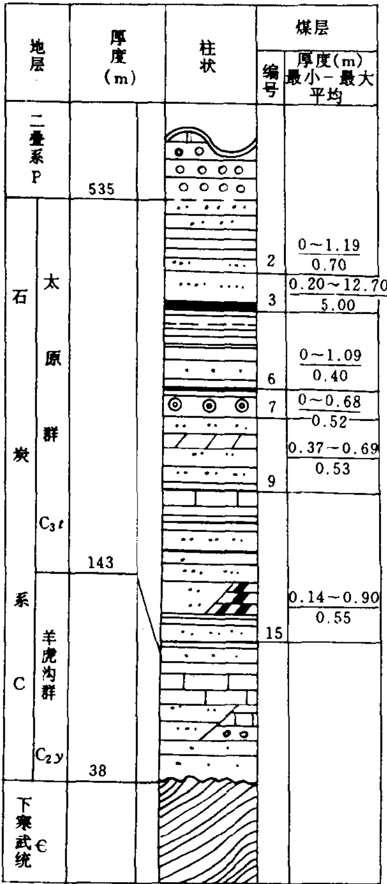


图1－15 山丹一东水泉矿区综合柱状图

石炭纪末，海水已全部从祁连地区退出，广泛发育了陆相碎屑沉积。早二叠世早期局部地区尚有含煤沉积，晚期气候逐渐转为干燥，成煤作用结束。

本区石炭纪煤田的水文地质条件与华北区石炭二叠纪煤田截然不同。本区石炭系的基底为泥盆系陆相地层，虽有局部地段石炭系超覆于寒武系或奥陶系之上，但本区石炭系发育完整，主要含煤地层为上石炭统太原组，巨厚的中、下石炭统中则含煤性很差，太原组与奥陶系相距甚远，故寒武系或奥陶系中的岩溶水不可能威胁到太原组煤层的开采。同时，太原组中所含石灰岩很少很薄，是以裂隙水为主，也不存在岩溶水问题。其下伏的泥盆系与上伏的二叠系又均为陆相沉积，均以含裂隙水为主，同时，本区气候干旱，降水稀少，补给条件差。故本区的煤田水文地质条件一般很简单。只有个别地段，当煤层位于地表水流之下时，才存在地表水或第四系砂层水的威胁问题。

三、南方二叠纪煤田

南方二叠纪含煤地层有早二叠世早期的梁山组，早二叠世晚期的童子岩组及晚二叠世的龙潭组。其中以龙潭组分布最广，含煤最好，可与华北区的山西组比美，是我国南方最重要的含煤地层。现分述如下：

(一)早二叠世早期梁山组

中、晚石炭世时我国南方又发生了较大规模的海浸。至早二叠世时海浸范围仍继续扩大，在本区广泛沉积了以碳酸岩系为主的早二叠世地层（楼霞组）。并在上扬子古陆的边缘形成了以滨海相为主的梁山含煤段，大面积超覆于早炭世以前的老地层之上。含煤较好的有湘西大江口至板溪、鄂西建始北部、巴东绿村坡至长阳青岗坪及松宜矿区，鄂南蒲圻、通山至阳新。黔西、滇东的宣威、水城、沾益等地区（图 1－16）。

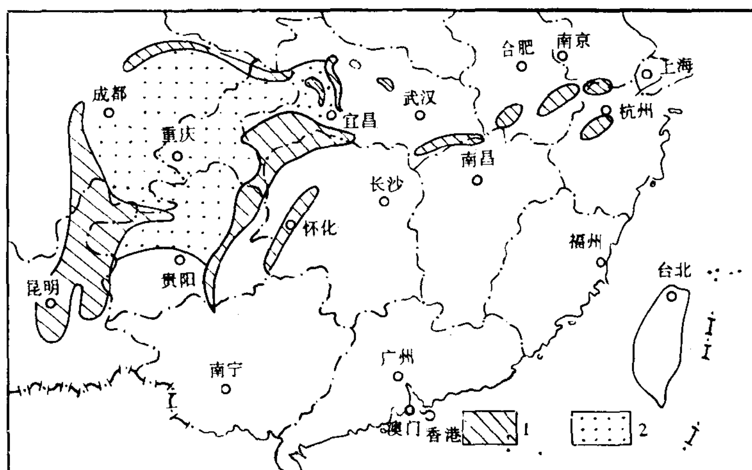


图 1－16　华南区早二叠世早期梁山段分布示意图

梁山段属于近海型含煤沉积，是在海进序列中形成的，它发育在古陆边缘的陆海过渡地带。由于海进速度过快，沉积环境变化迅速，成煤作用的延续时间短，故煤系的厚度薄而变化大，可由几米至百余米。与上覆楼霞灰岩为连续沉积，与下伏地层的接触关系则比较复杂，可以整合、假整合或不整合于前二叠纪各时代的地层之上。其厚度变化受下伏古地形的控制很明显，在凸凹不平的古地形上起到了填平补齐的作用组成煤系的岩性较复杂，各地不一，有的以砂质泥岩为主，有的以泥质岩为主，还有的以铁铝质岩为主。含煤 1～4 层，一般为 1～2 层。煤层厚度极不稳定，为 0～19.58m。呈似层状、藕节状、凸镜状或瓜藤状。

现将一些煤田的梁山组柱状图列于图 1－17。

梁山组沉积厚度很薄，夹于楼霞灰岩与下伏灰岩之间（图 1－18），顶底板都受到岩溶水的直接威胁，故其水文地质条件一般很复杂。只有当煤层埋藏于当地侵蚀基准面以上时，其水文地质条件才变得相对简单。

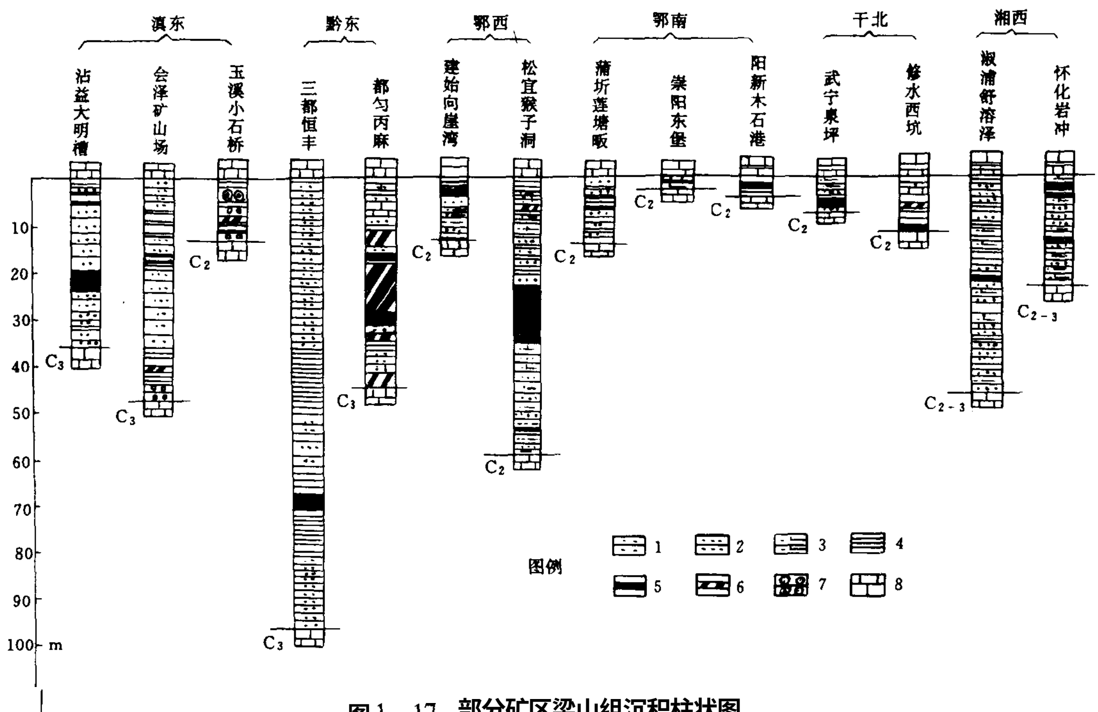


图1－17　部分矿区梁山组沉积柱状图

1－砂岩；2－粉砂岩；3－石英砂岩；4－页岩；5－煤层；6－碳质页岩；7－铝土岩；8－石灰岩

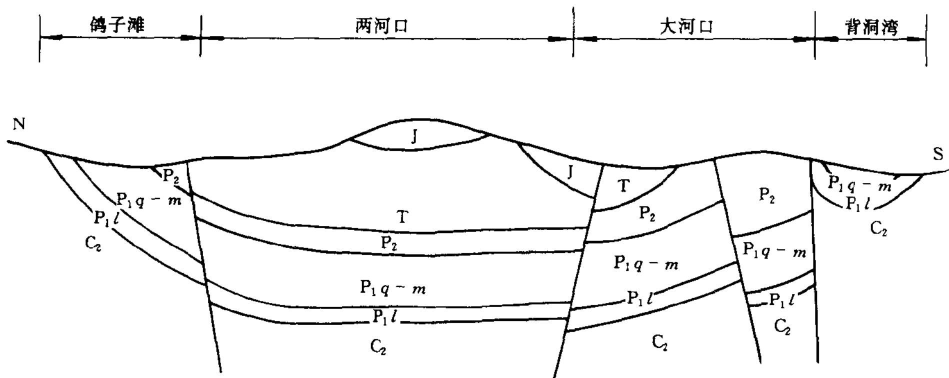


图1－18　松宜煤田示意剖面图

C_2－黄龙灰岩；P_1l－梁山组；P_1q-m－栖霞灰岩、茅口灰岩；

P_2－龙潭组、长兴组；T－大冶灰岩，嘉陵江灰岩；J－香溪碎

(二)早二叠世晚期童子岩组

经过栖霞期海浸高潮之后，华夏古陆缓慢隆起。大致以武夷古陆为界，东部在武夷古陆与华夏古陆之间相继沉积了以灰黑色泥岩、粉砂岩为主的文笔山组及海陆交互相的童子岩组（龙岩组）含煤地层；西部则沉积了硅质岩为主的当冲组，再往西、往北、则广泛

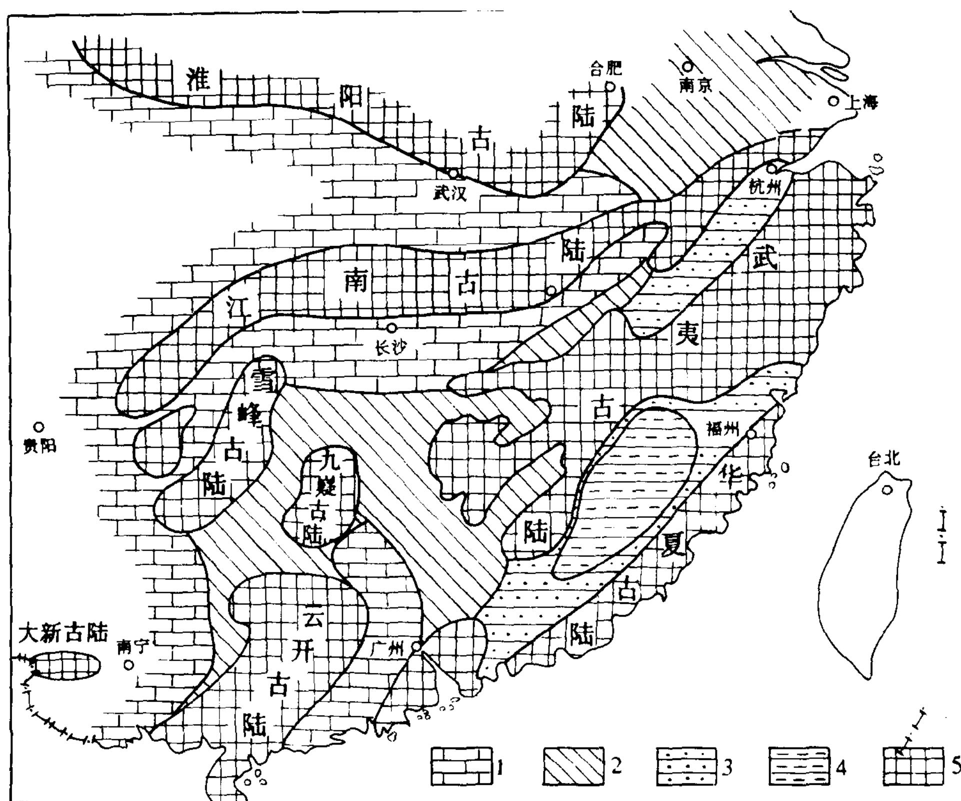


图 1－19　华南早二叠世晚期沉积岩性分布图

1－石灰岩；2－泥岩；3－粉砂岩；4－硅质岩；5－古陆

沉积了茅口灰岩（图 1－19）。

茅口晚期，使本区江南古陆、雪峰古陆及云开古陆以西全部隆起为陆，遭受侵蚀剥蚀，缺乏沉积，而以东则仍继续沉积了海陆交替相的童子岩组上部含煤段（即第三段）。

童子岩组呈北东向分布于奥东至浙西一带，其中以闽西南发育最全，含煤性较好，研究程度也较高。由下而上可分为三段。一段：厚 362～203m，从东往西变薄。岩性为砂岩、粉砂岩及泥岩，含煤 40 多层，可采及局部可采 3～9 层，平均可采总厚 3.71～5.56m。二段：厚 45～160m，中部厚、东、西薄。中、下部以泥岩、砂质泥岩为主，上部为粉砂岩夹薄层细砂岩，含泥铁质大结核，属海相沉积，俗称“动物泥岩段”，本段不含煤。三段、厚 128～460m，由东往西变薄，岩性为细砂岩、粉砂岩及少量泥岩，含煤 20～30 层，最多可达 70 余层，可采及局部可采 3～7 层，可采总厚 3～6.39m。

童子岩组本身含水微弱，上覆翠屏山组中虽有砂岩及砾岩含水层，但对矿井开采影响不大；下伏棲霞灰岩溶裂隙虽较发育，但被巨厚的文笔山组隔水层所阻隔，一般难以向矿井充水（图 1－20）。只有当被断层错动使煤层与灰岩含水层直接接触时，灰岩水才能进入矿井。特别是闽西南存在所谓“脱底断层”（推掩断层），往往使煤层或煤系与下伏棲霞灰岩直接接触或相距很近，甚至将棲霞灰岩直接推覆于煤系或煤层顶板之上，使煤

层开采严重地受到岩溶水的威胁。例如龙岩煤田的王庄矿区（图 1－21），F_2 逆掩断层将栖霞灰岩及船山灰岩直接覆盖于童子岩组含煤段之上，后滑脱断层则将栖霞灰岩平卧于煤系底板之下，再加上其他断裂的切割与沟通，形成非常复杂的水文地质局面。岩溶水和热水严重地威胁着煤层的开采。使王庄井田至今尚难以开发，其他矿区也有与此相类似的情况

地层	厚度(m)	岩性柱状	煤层	含水性
翠屏山组 P_2cp	366~512		不含煤	弱含水层
龙岩组三段 P_1l^3	418		13号煤 20号煤 21号煤 27号煤 28号煤 29号煤	弱含水层
龙岩组二段 P_1l^2	103		不含煤（海相层）	隔水层
龙岩组一段 P_1l^1	241		32号煤 33号煤 34号煤 35号煤 36号煤 37号煤 38号煤 39号煤 41号煤 43号煤 45号煤	弱含水层
文笔山组 P_1w			不含煤	隔水层
栖霞组 P_1q	238			强含水层

图1－20　龙永煤田地层综合柱状图

（三）晚二叠世龙潭组

早二叠世末，东吴运动使华南区全部上升为陆，并在川滇古陆的东侧喷发了大量的玄武岩（峨嵋山玄武岩）。经过剥蚀夷平之后，于晚二叠世早期又自西南向东北开始了缓慢的海浸。在川滇古陆以东、武夷古陆以西广泛堆积了本区最重要的含煤地层——以海陆交替相为主的龙潭组。在武夷古陆以东则堆积了陆相的翠屏山组不含煤地层。

龙潭组的分布范围几乎遍及华南各省（区）。但由于晚二叠世时本区的古地理面貌比较复杂，故龙潭组的岩相、岩性、含煤性、煤系厚度及其含水性等均表现出多样性。既有东西变化，又有南北差异。

晚二叠世早期，海水自本区西南浸入，在滇东南、桂西、桂中、黔东、川东、鄂西南、鄂东南、湘中及粤北等广大地区堆积了以浅海相为主的含煤地层（以吴家坪组为代表）；在滇东、黔西、川南、皖南、苏南、赣中、湘南至粤北等地则沉积了以滨海相为主的含煤地层；并在川滇古陆的东侧（宣威组）、武夷

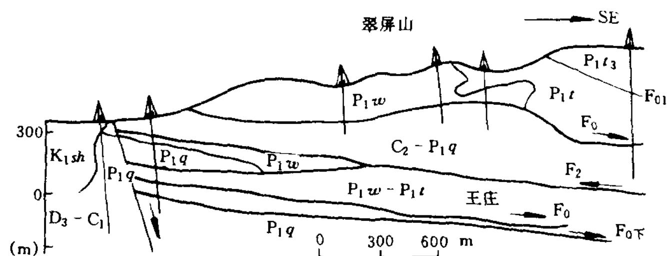


图1－21　龙岩翠屏山—王庄勘探区构造剖面图

P_1q－栖霞灰岩；P_1w－文笔山组；P_1t－童子岩组；

P_1t_3－童子岩组第三段

古陆的西北侧堆积了陆相的含煤地层（图 1－22）。

在有龙潭组分布的地区，多数都含有可采煤层。但所含煤层和厚度各地不一，从 1～2 层到 50 余层，局部地区多达百余层。一般可采 1～10 余层，部分地区多达 20 余层。以滨海相（尤其是滨海三角洲相）沉积含煤较富，浅海相沉积则一般较差。在本区东部及西

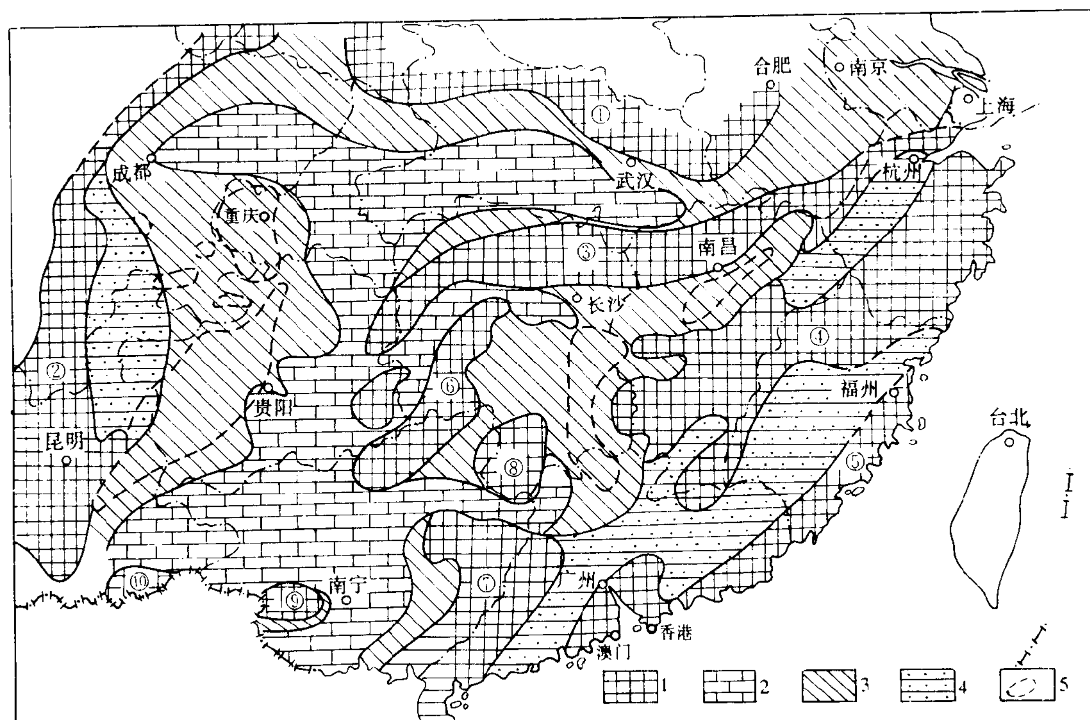


图 1－22　华南区晚二叠世龙潭期沉积岩相分布图

①－淮阳古陆；②　川滇古陆；③－江南古陆；④－武夷古陆；⑤－华夏古陆；

⑥－雪峰古陆；⑦－云开古陆；⑧－九嶷古陆；⑨－大新古陆；⑩－马关古陆

1－古陆；2－浅海相（吴家坪组）；3－滨海相（龙潭组）；4－陆相(宣威组、翠屏山组)；5－富煤带范围

部的滨海三角洲带中各有一个富煤带：西部富煤带分布于四川重庆、贵州盘县云南宗师一带，含煤 10～50 余层，可采 3～10余层，煤层总厚度 3～52m ；东部富煤带分布于江西东平、丰城至湖南来阳、广东韶关一带，含煤 4～27 层，可采 2～3 层，煤层总厚度 3～22m。

龙潭组沉积以后，海浸范围迅速扩大，在龙潭组之上普遍连续沉积了长兴灰岩。（或相变为大隆组硅质岩），并在川滇古陆的东缘堆积了海陆交互相的含煤地层，分布于川南的乐山、筠连，滇东北的镇雄，黔西的水城、织金及滇东的富源、思洪、圭山一带，一般厚约几十米至百余米。岩性主要由细砂岩、粉砂岩、泥岩组成，时夹有薄层泥岩灰岩和灰岩。含煤一般十余层，薄至中厚煤层，与龙潭组含煤段呈连续沉积。向东、西两侧含煤性迅速变差，以至基本不含煤。

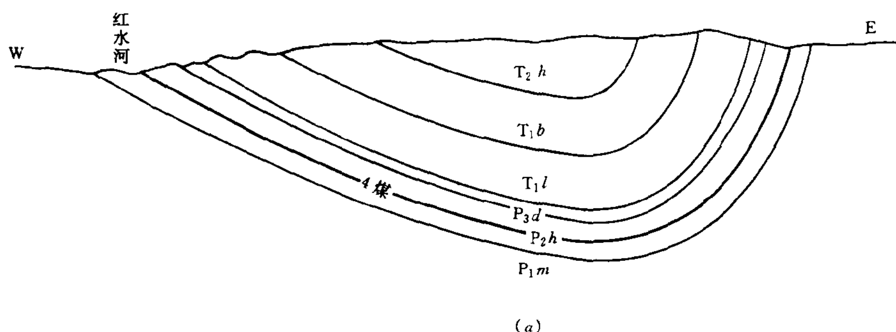
现将华南部有代表性矿区的晚二叠世含煤地层综合柱状列于图 1－23。

二叠纪末，海西运动使本区大部上升为陆，气候也转为干燥，本区晚古生代聚煤作用亦随之结束。

华南区晚二叠世煤田的水文地质条件，各地差别较大，总的看来，多数比较复杂。其主要控制因素为：①含煤地层本身的含水性；②下伏及上覆地层的含水性及其对煤层开采的影响。

龙潭组本身的含水性又取决于其岩性组成。以浅海相沉积为主的煤田中含石灰岩较多。这些灰岩，岩溶、裂隙比较发育，而且往往与下伏茅口灰岩、上覆长兴灰岩或地面水有密切的水力联系。如广西合山煤田（图 1－24）的二煤、三煤及四煤的底板灰岩均有溶洞发育，钻孔单位涌水量可达 0.27～2.34L/s·m ；并与红水河有密切的联系，矿井突水时井下水仓中竟发现大量的鱼，水流和水质也与红水河一致。柳花岭矿的最大涌水量为 $96000m^3/d$；石村矿 1980 年 11 月突水 $81600m^3/d$ 而淹没；马鞍矿于 －2000m 水平突水 $59040m^3/d$ 亦被淹没；朔河、黑兰等矿也都曾发生过淹井事故。贵州贵阳煤田的扎佐矿也曾发生过龙潭组灰岩溶洞突水，并通过断层与茅口灰岩相联系而淹井。粤北连阳煤田的三江口矿及保安矿也都发生过龙潭组灰岩溶洞突水淹井事故。

以滨海相沉积为主的煤田则仅含有少量薄层灰岩。这些薄层灰岩及煤系中其他岩层的



(a)

地层	符号	厚度(m)	柱状	岩性	
红高岭组	T_2h	230～270		砂质泥岩、细砂岩、泥岩	
北泗组	T_1b	350～440		厚层状石灰岩、夹泥灰岩	
罗楼组	T_1l	280～340		厚层状石灰岩	
				薄层状灰岩、泥灰岩	
				薄层状灰岩夹凝灰岩	
大降组	P_2d	13～21		硅质灰岩、粉砂岩	
合山组	P_2h	101～183		一煤 二煤 三煤 四煤 五煤	生物灰岩含燧石条带
茅口组	P_1m	340～440		石灰岩	

(b)

图 1－24　合山煤田剖面示意图

纵向比例尺 0 50m 100m 200m 300m

西安 成都 昆明 贵阳 南宁 海口 广州 长沙 武汉 合肥 南京 杭州 南昌 福州 南海诸岛 0 250km

地质时代	
系	统
三叠系 T	下三叠统 T_1
二叠系	上二叠统 P_2
P	下二叠统 P_1

1 来宾矿区 T_1k 宣威组 2 3 5

2 盘县矿区 T_1f 长兴、龙潭组 1 2 3 8 9 10 12 17 24 30

3 贵阳矿区 P_2c 龙潭组 $K_{12}-K_{13}$ K_9-K_{11} K_8 K_5-K_7 K_4 K_2-K_3 K_1

4 松藻矿区 P_2c 龙潭组 6 4 3 2 1

5 华蓥山矿区 P_2c 龙潭组 M_1

6 合山矿区 T_1 P_2d 合山组 2 3上 3下 4 5

7 黄石七约山矿区 T 龙潭组 中煤 下煤

8 煤炭坝矿区 P_2c 1 2

9 永来矿区 P_2d 1 2 3 4 5 6 7 8 当冲组 P_1d

10 梅田矿区 P_2c 3 4 5 6 7 8 10 11 12 13

11 萍乡矿区 B_5 B_4 A_2 A_1 A_0 茅口组

12 丰城矿区 P_2c C_{23} C_{18} C_8 B_4 B_3

13 乐平矿区 P_2c C_1 C_1 B_5 B_4 B_3 B_2

14 长广矿区 $T_{1-2}g$ P_2c C_2 孤峰组 P_1g



图例：角砾岩 中、粗砂岩 细砂岩 粉砂岩 砂质页岩 页岩 钙质砂岩 铝土岩 煤层 炭质页岩 石灰岩 燧石灰岩 砂质灰岩 白云岩 泥灰岩 砂质泥灰岩 硅质岩 菱铁矿层 玄武岩 安山岩

含水性一般不大，对煤层开采不足为患。但湘中地区各煤田的主要可采煤层距下伏茅口灰岩只有零点几米至几米，因而使水文地质条件变得很复杂。

以陆相沉积为主的煤田则含煤地层本身完全没有岩溶水问题，以含裂隙水为主，水量一般很小。但赣南的龙南矿区，煤系之上覆有岩溶较强的长兴灰岩，岩溶水能通过断裂进入矿井。

龙潭组的下伏地层为茅口灰岩及其同期异相的当冲组或孤峰组。在川滇古陆的东侧则为峨嵋山玄武岩（图 1－25）。

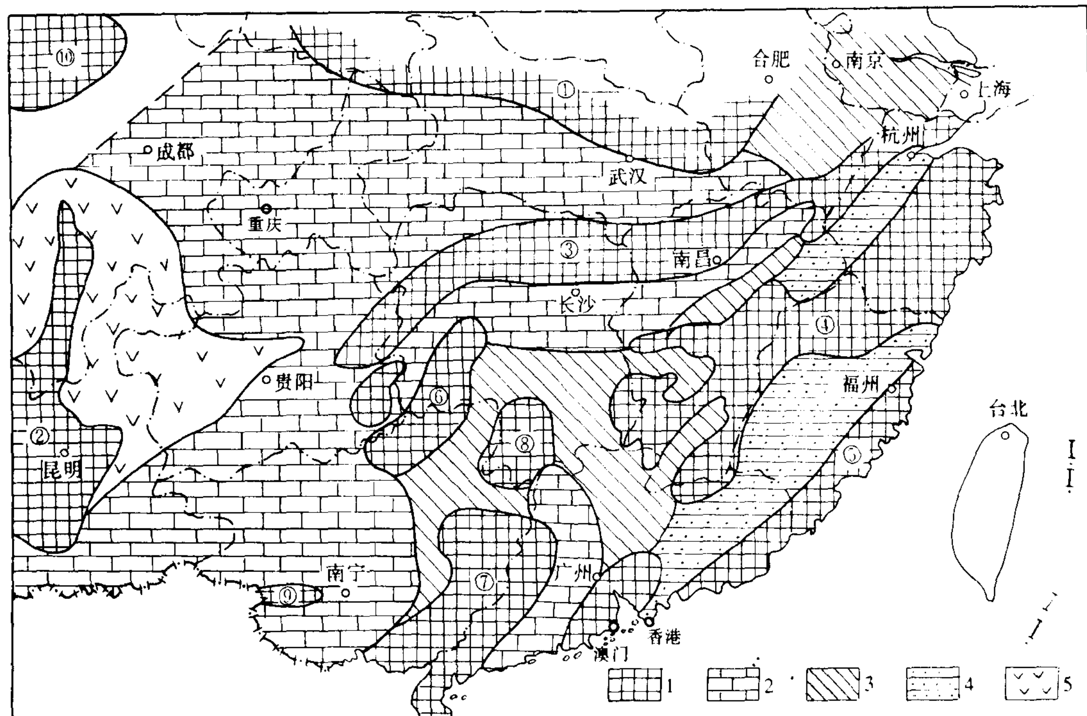
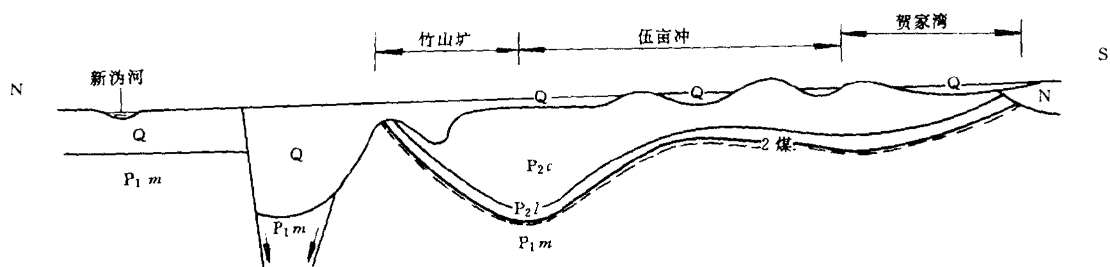


图 1－25　龙潭组(吴家坪组、宣威组)沉积基底岩性分布图

①－淮阳古陆；②－川滇古陆；③－江南古陆；④－武夷古陆；⑤－华夏古陆；⑥－雪峰古陆；⑦－云开古陆；⑧－九嶷古陆；⑨－大新古陆；⑩－松潘古陆

1－古陆；2－碳酸岩（茅口组）；3－硅质岩（当冲组，孤峰组）；4－碎屑岩（童子岩组）；5－峨嵋山玄武岩

茅口灰岩在东吴运动期间曾普遍受到强烈的岩溶化，在以后的历次构造运动中又进一步加剧，溶洞、暗河异常发育，含水丰富。在湘中、鄂南、川东等地，茅口灰岩上距龙潭组主要可采煤层都很近，一般小于 10m，有的还不足 1m。煤层开采时，茅口灰岩水往往大量涌入矿井，造成淹井事故。例如湘中的煤炭坝矿区（图 1－26），主要可采煤层几乎直接贴在高度岩溶化的茅口灰岩之上（只隔有 0.5m 左右的粘土岩），煤层开发时先后发生岩溶突水 14 次，其中全部淹井 4 次，局部淹井 10 次，单个突水点的水量达 $2900m^3/h$。仅矿区南部四个井（贺家湾、伍亩冲、竹山圹、颜家冲）的涌水量已达 $8175m^3/h$。湘中恩口、斗笠山、桥头河三个矿区从 1961 年至 1984 年先后发生岩溶突水事故 39 次，其中



P_1m 茅口灰岩；P_2l 龙潭煤系；P_2c 长兴灰岩；N 上第三系；Q 第四系

图 1-26　湖南煤炭坝煤田剖面图

全井淹没 9 次，局部淹井 30 次；井巷揭露大水突水点 950 多个，单点最大涌水量 $2200m^3/h$，瞬时最大突水量 2.7 万 m^3/h。又如川东南桐矿区红岩煤矿南茅口灰岩大巷于 1963 年 5 月 4 日揭露了海孔暗河深部的一条裂隙，流量由 $92m^3/h$ 逐渐增大到 $850m^3/h$，并溃入河沙、卵石、木屑等，洪水期最大流量竟达 $9200m^3/h$。该矿总面回风巷还在 F_7 断层附近揭露了一个充满泥沙的干溶洞，长 5m，宽 4m。1974 年 9 月 6 日下了 8 小时暴雨，从溶洞中冲出砂砾约 $7270m^3$。淤塞巷道 4130m，冲垮 4 条上山，总长 2000 余米。矿井总排水量增至 48 万 m^3/d，最大流量 2.8 万 m^3/h。南桐一井向斜南翌风井在标高 +300m 上揭露了茅口灰岩岩溶管道数条，沟通了河水，最大突水量达 $10000m^3/h$。

在川东的其他矿区以及鄂西南、鄂东南的一些煤矿，开采龙潭组煤层时也都发生过茅口灰岩突水和淹井的情况。

各煤矿区所见的茅口灰岩厚度如表 1-4。

表 1-4　南方各矿区茅口灰岩厚度表

矿　区	茅口灰岩厚度（m）	矿　区	茅口灰岩厚度（m）
盘县矿区	822	蒲圻矿区	250
六枝矿区	687	煤炭坝矿区	300
织金矿区	678	恩口矿区	630
贵阳矿区	150	谭家山矿区	550
芙蓉矿区	391	萍乡矿区	200
筠速矿区	359	丰城矿区	200
广旺矿区	249	速阳矿区	350
红岩矿区	178	红茂矿区	537
松宜矿区	180	罗城矿区	640
长阳矿区	130	合山矿区	400
黄石矿区	150	扶绥矿区	200

在川滇古陆的东侧，东吴运动时曾喷发了大量的玄武岩流（峨嵋山玄武岩），呈南北向大片覆盖于茅口灰岩之上，使龙潭组与茅口灰岩之间隔有数十米至数百米厚的玄武岩，从而使茅口灰岩不能对龙潭组煤层开采为害。

在赣中地区虽亦有茅口灰岩分布，但该区龙潭组的下段无重要的可采煤层，茅口灰岩距主要可采煤层 B组煤及 C组煤很远，在正常情况下茅口灰岩难以向矿井充水。

龙潭组的上覆地层为长兴灰岩及其同期异相的大隆组（图 1－27）。

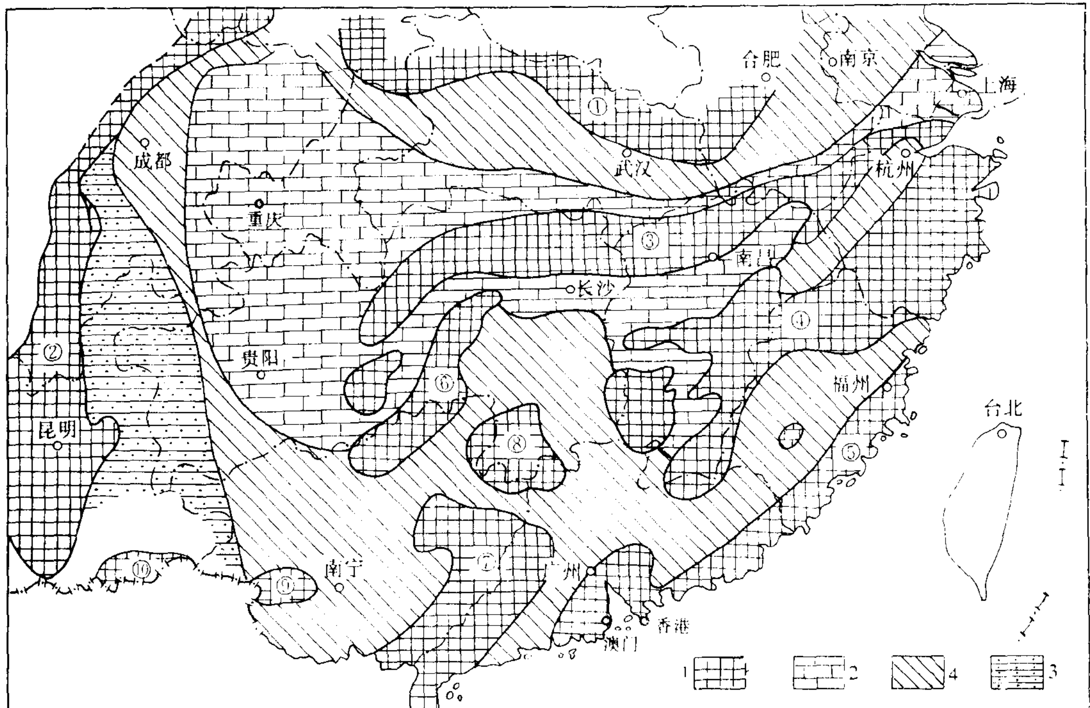


图 1－27　华南区晚二叠世长兴期沉积岩性分布图

①－淮阳古陆；②－川滇古陆；③－江南古陆；④－武夷古陆；⑤－华夏古陆；
⑥－雪峰古陆；⑦－云开古陆；⑧－九嶷古陆；⑨－大新古陆；⑩－马关古陆
1－古陆；2－以石灰岩为主；3－以硅质岩为主；4－以碎屑岩为主

长兴灰岩的岩溶化程度也比较强烈，溶洞、暗河也较发育，含水也很丰富，是开采龙潭组煤层的第二大威胁。如江西丰城矿区长兴灰岩直接覆盖于龙潭组 C 组煤之上（图 1－28），云庄矿开采 C组煤时，顶板突水量达 $6582 \sim 19000\mathrm{m}^3/\mathrm{h}$ 之多，使矿井迅速淹没。同时使该区煤层较好、储量较富的 C组煤，至今未敢开采。又如四川松藻矿区长兴灰岩下距龙潭组主要可采层 K_3 煤仅 16～39m。已知长兴灰岩中暗河长 1240m，对煤层开采造成严重威胁。该区同华煤矿涌水量已达 $17823\mathrm{m}^3/\mathrm{d}$。

根据龙潭组及其下伏与上覆地层的岩性组成及含水情况，可将华南区晚二叠世煤田按其水文地质条件的复杂程度分为四类地区（图 1－29）。

Ⅰ. 水文地质条件极复杂区。其主要特征为：①含煤地层以浅海相沉积为主；②下伏

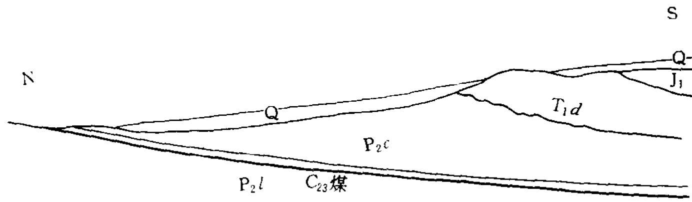


图 1-28 江西丰城矿区剖面示意图

P_2l－龙潭煤层；P_2c－长兴灰岩；T_1d－大冶灰岩；J_1－早侏罗统；Q－第四系砂砾层

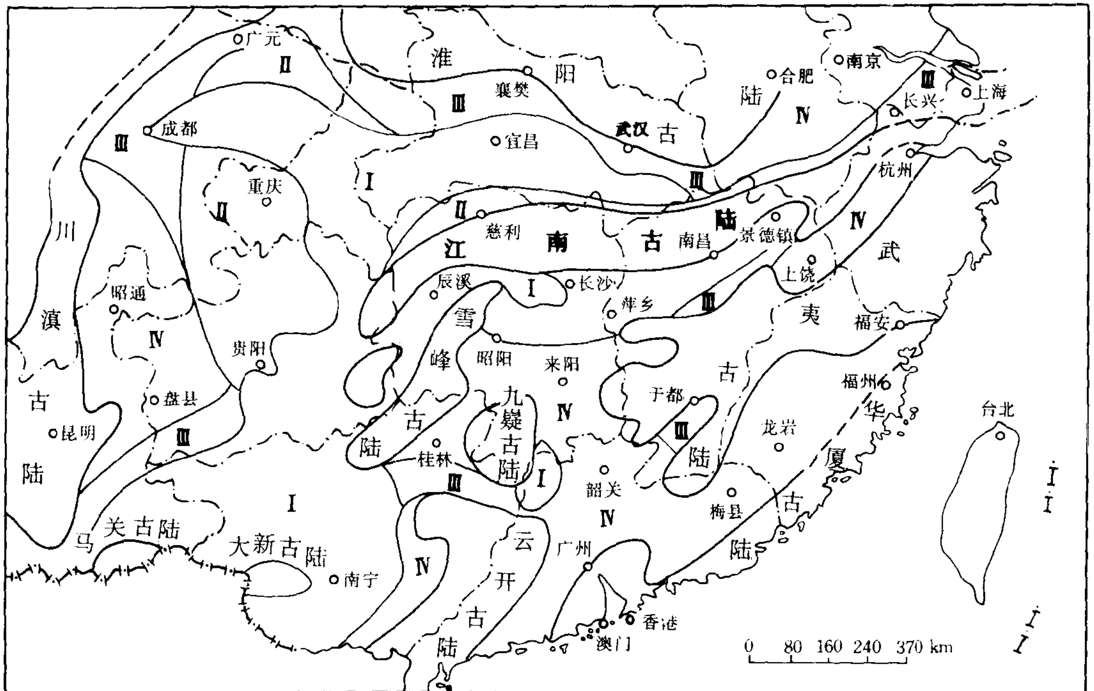


图 1－29 龙潭组煤田水文地质条件复杂程度分区图

Ⅰ－水文地质条件极复杂区；Ⅱ－水文地质条件复杂区；Ⅲ－水文地质条件中等区；
Ⅳ－水文地质条件简单区

地层为茅口灰岩（或上有长兴灰岩，下有茅口灰岩）。

Ⅱ. 水文地质条件复杂区。其主要特征为：①含煤地层以滨海相沉积为主；②下有茅口灰岩，上有长兴灰岩（即同时受到底板及顶板两个方面的岩溶水威胁）。

Ⅲ. 水文地质条件中等区。其主要特征为含煤地层及其下伏与上覆地层中只有一个方面存在岩溶水问题。

Ⅳ. 水文地质条件简单区。其主要特征为：含煤地层及其下伏与上覆地层中都不存在岩溶水问题。

四、华南区晚古生代煤田不同于华北区的若干水文地质特点

华南区晚古生代煤田虽然也和华北区晚古生代煤一样存在着岩溶水的严重威胁，但由于华南区的地质及自然地理条件与华北区有所差别，故其水文地质条件亦存在着一些不同于华北区的特点。

1. 华北区的晚古生代煤田主要受底板岩溶水的威胁；华南区晚古生代煤田则既受底板岩溶水的威胁，又受顶板岩溶水的威胁

华北区石炭二叠纪含煤地层虽普遍沉积于中奥统石灰岩之上，存在底板岩溶水的严重威胁，但含煤地层的上覆地层均为陆相沉积，不存在顶板岩溶水问题。华南区则不然。晚古生代时，华南区历经几次大规模的海浸和海退，因而碳酸岩系与含煤地层多次交替沉积。早石炭世测水组下有石磴子灰岩，上有梓门桥灰岩及壶天灰岩；早二叠世梁山组则被夹在棲霞灰岩与黄龙灰岩之间；晚二叠世龙潭组也是底有茅口灰岩，顶有长兴灰岩。这些灰岩都已强烈岩溶化，都能给煤层开采造成灾害。因此，华南区晚生代煤田，大多数都既有底板岩溶水问题，又有顶板岩溶水问题。

2. 华南区的岩溶以暗河、溶洞为主，但发育深度一般较浅；华北区的岩溶则以溶洞、溶隙为主，但发育深度一般较大

从地表及浅部来看，华南区的岩溶异常发育，溶蚀洼地、喀斯特漏斗、落水洞星罗其布，岩溶地貌千姿百态，大型溶洞和暗河到处可见；而华北区则大型溶洞不多，暗河更少见，岩溶地貌也不很显著，较之华南区，大有逊色。但由浅及深来看，华南区的岩溶随着埋藏深度的增大迅速减少，一般在当地侵蚀基准面以下 100～150m 即已大大减弱，至 250～300m ，除了广西合山、黔中贵阳、湘中斗笠山等煤田可见到个别的古岩溶外，一般就减弱到基本上不发育了。华北区的岩溶虽然也是随着埋藏深度的增大而减少，但其衰减速度要慢于华南区，在当地基准面以下 400～600m 常可见到岩溶，在峰峰、邢台、阳泉、潞安、太原以及山东济宁等矿区在埋深 800～1000m ，仍有溶洞发育，在冀中坳陷深达 2000～3000m，仍有大量古岩溶。华南区与华北区岩溶发育上的这种差别，是由于华南区自中、晚泥盆世至中三叠世（即从加里东运动至印支运动之间）一直缺乏大的沉积间断，东吴运动虽一度使本区西部和中部上升为陆，经受侵蚀剥蚀，但为时不长，不利于岩溶的充份发育。而华北区则在加里东运动以后，从晚奥陶世至早石炭世长期隆起为陆，使寒武系及奥陶系尤其是中奥陶统灰岩得以强烈岩溶化，石炭二叠纪含煤地层就沉积在这个强烈岩溶化了的基底之上。这些深埋于地下的古岩溶，在以后虽已大部被充填，但所保留下来的古岩溶仍比华南区有古岩溶为多。从印支运动至喜马拉雅运动，即从中、晚三叠世至早第三纪末，华南区与华北区的岩溶发育进程大体相当，都有较大程度的发展。但从早第三纪末以后，秦岭一大别山对于南、北气候的分隔作用已十分明显，华南区雨量充沛，气候潮热，非常有利于岩溶发育；华北区则雨量相对要少，岩溶发育条件相对要差。在晚第三纪和第四纪，华北区的岩溶虽然也得到了空前的发展，但毕竟不如华南区迅速和强烈。因此华南区的地表和浅部岩溶发育程度要比华北区为剧，而深部岩溶发育程度则比华北区要差。或者说，新岩溶南强于北，古岩溶北强于南。总的表现为华南区岩溶发育随埋藏深度的增大而减弱的速度要快，而华北区则相对缓慢一些。

3. 华南区的岩溶系统及含水构造多为中、小型，华北区则多为大、中型或巨大

华南区在晚古生代含煤地层沉积以后，经过后期历次构造运动的剧烈破坏和剥蚀，只残存下来一些呈零星分布的中、小型含煤盆地。在这些盆地中及其周边也相应残存着灰岩含水层。这些灰岩含水层虽然裸露情况很好，岩溶发育也很强烈，但毕竟因其规模不大，难以形成大型岩溶系统和大型含水构造。在四川盆地虽有较大规模的保留，但其岩溶发育深度不大，也难以形成大型自流盆地。黔西地区则茅口灰岩之上覆有数十米至数百米的峨嵋山玄武岩，补给条件较差，加上被许多褶皱、断层所分割，也不易形成统一的大型自流盆地和大型岩溶系统。该区长兴灰岩则相变为硅质岩为主的大隆组，已非岩溶含水层了。

华北区的晚古生代煤田虽然也经过历次构造运动的破坏和剥蚀，但褶皱较平缓，构造较简单，被保留下来的煤田规模也较大，同时岩溶发育又较深，故常能形成面积达数百平方公里至数千平方公里的大型自流盆地及大型岩溶系统。

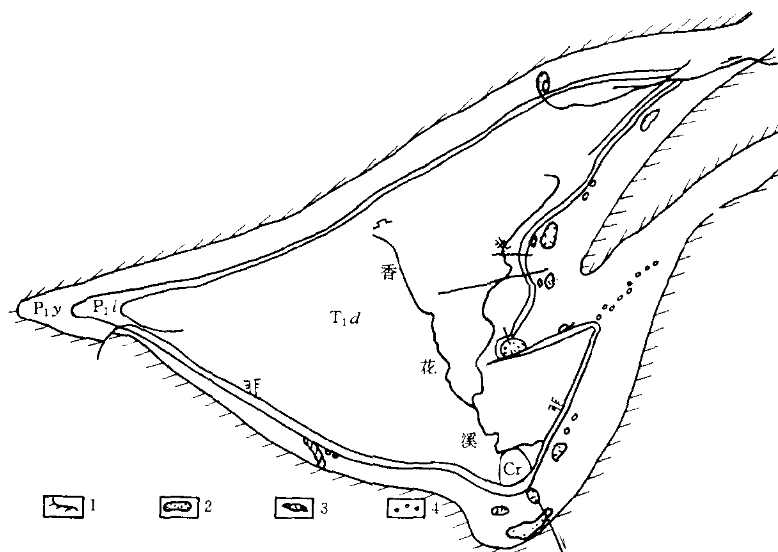


图1－30　斗笠山矿区塌陷分布示意图

1－矿区隔水边界；2－密集塌陷区；3－沉降区；4－单个塌坑

由于华南区的岩溶含水层含水构造规模一般较华北区的为小，故华南的晚生代煤田虽具有岩溶裸露程度高，岩溶化强烈，溶洞、暗河异常发育，降雨充沛，补给条件好，地下水交替激烈等优越条件。但毕竟汇水面积小，地下水补给量与储存量都受到很大限制，煤层开采时，矿井涌水量一般要比华北区的为小（除与地表水直接贯通者外）。因此，华南区的许多煤矿可以将运输大巷直接置于茅口灰岩之中，而华北区则一般难以在中奥陶统灰岩中掘进巷道（指在奥灰水位以下）。

4. 地表岩溶塌陷是本区不同于华北区的一种特殊的环境工程地质现象

由于本区岩溶发育强烈而埋藏浅，岩溶含水层大片裸露地表或只有不厚的新生界松散覆盖层，故矿井排水或矿区供水时，岩溶含水层水位降落，往往导致大范围内发生地表陷

落坑群，使大片村庄、农田、公路、桥梁、水利设施及其他地面建筑遭受严重破坏，甚至危及人、畜安全；同时使浅部水源枯竭，影响人民生活及生产，甚至影响矿区及其周围地区的生态平衡。这一特殊的环境地质问题在本区许多矿区相当严重地存在，这也是本区的一个显著特点。如湖南斗笠山煤矿长期疏排煤层底板下伏茅口灰岩水，矿区外围长达数十公里的茅口灰岩露头区到处出现地表塌陷坑（图 1－30）。除导致一些村庄、农田破坏外，还使一个建立在茅口灰岩上的火药厂内产生 11 处地面塌陷及几十处尚未塌到地表的暂时隐伏的土洞（图 1－31）；六座厂房、车间严重开裂、下沉或倒塌；其他一些车间也受到隐伏土洞的严重威胁。随时都有发生火药大爆炸的可能，严重地威胁着职工生命和国家财产的安全。迫使该厂不得不耗费大量资金对厂区内地面、地下的塌陷情况及塌陷机理进行全面勘查，并停产治理。

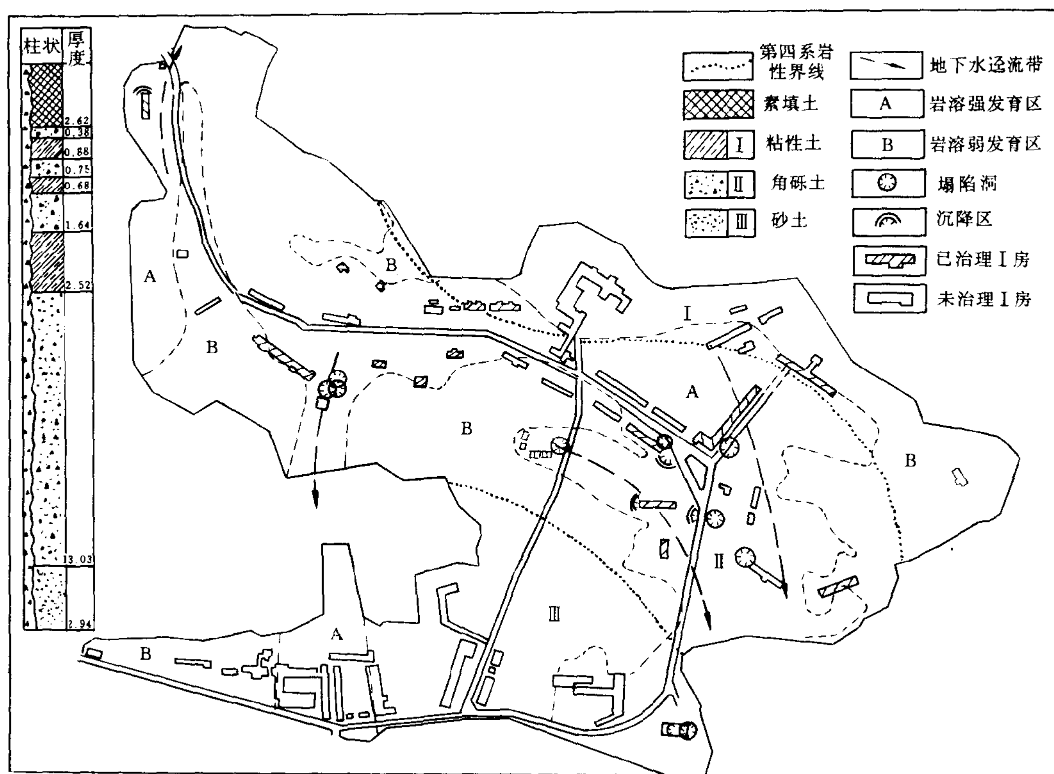


图 1－31　湖南一六九厂生产区塌陷治理平面图
（据湖南煤炭研究所仰步禹提供）

又如恩口煤矿，茅口灰岩塌陷范围达 $20km^2$ 余，1972～1990 年先后出现地表塌陷坑 7588 个。塌坑直径大者达百余米，小者仅 1m 余，使五千余亩良田受损，近 6 万 m^2 民房破坏，近 400 户居民搬迁，并多次发生人身伤亡及耕牛掉入塌洞事故。同时还导致河水及其他地面水沿塌洞大量下沉，使矿井涌水量猛增。1980 年雨季矿井最大涌水量达 8500 m^3/h。1990 年 6 月由于连降暴雨，壶天河及其附近发生塌洞 97 个。其中发生在河床中的

三个椭圆形大塌洞，其长数分别为 120m、100m、95m，使流量为 $15m^3/s$的河水送入矿井，使恩口一、二号两矿井于 7 月 4 日被淹，造成近亿元的损失。还迫使不得不在塌陷洞区之上用钢筋水泥架设几百米的人工河床，以防上河水进入矿井及再次塌陷。

其他如桂中、粤北、赣中、鄂西、川东等地的一些煤矿区也都存在与此相类似的情况。

五、西藏晚二叠世妥坝组

我国西藏东北部及青海南部在沉积了早石炭马查拉组含煤地层之后，继续下沉为浅海。至早二叠世末，西藏地区大片隆起为西藏古陆。晚二叠世初期，其北部又再度下沉，南部仍为古陆，称为岗底斯古陆。沿着古陆的东北侧狭长滨海地带堆积了晚二叠世含煤地层妥坝组，在青海南部则称为乌丽组。分布于昌都妥坝、察雅、巴贡、芒康等地。向南延入滇西，向北西延入青海乌丽，再向西延入藏北双湖热觉查卡。呈北西一南东方向延伸并向北东凸出的弧形展布（图 1-32)。

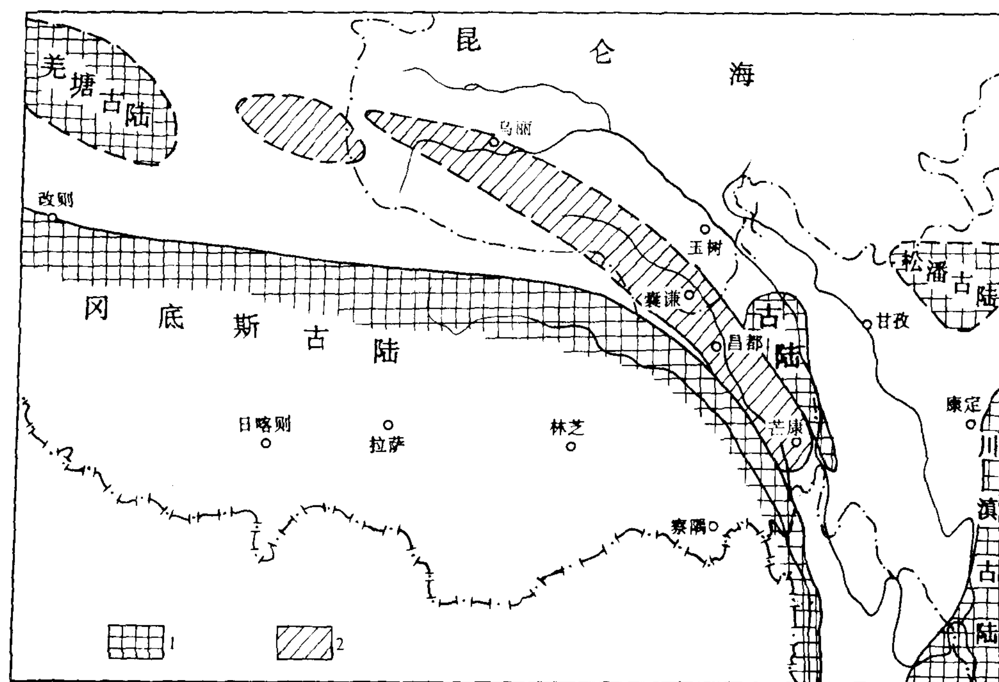


图1-32　青藏区晚二叠世古地理图

含煤段位于妥坝组的中部，含可采煤层 14 层，一般单层厚 1m左右，最厚达 2m。煤层不稳定，结构复杂。煤种为无烟煤和瘦煤。总的变化趋势是以妥坝为中心，向南、北两端含煤性变差。乌丽组煤层发育于中下部，含煤 5层，单层厚 0.5～0.6m。妥坝组及乌丽组的沉积柱状如图 1-33 所示。

妥坝组的岩性以陆相碎屑岩为主，乌丽组含煤段中虽含有 1～3层薄层灰岩，但岩溶

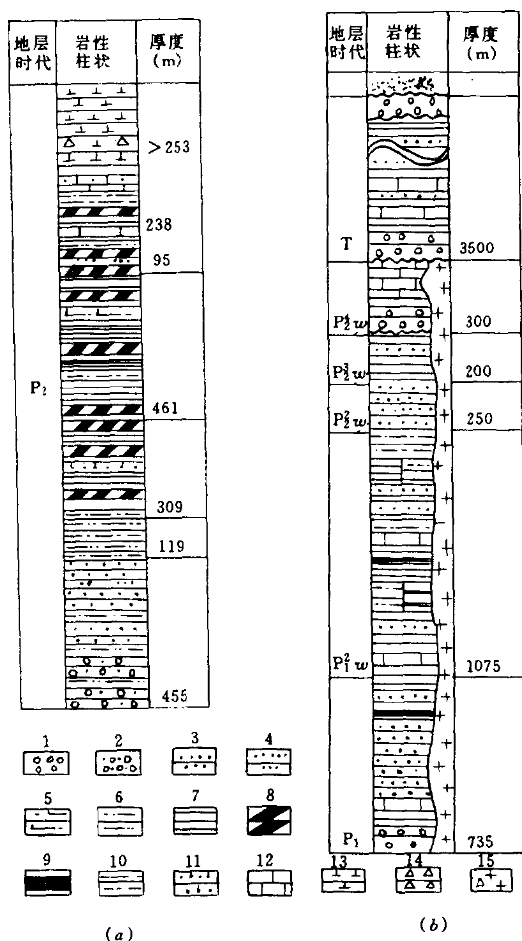


图1－33　西藏东北部及青海南部晚二叠世含煤地层柱状图

1－砾岩；2－砂砾岩；3－砂岩；4－细砂岩；5－石英砂岩；6－粉砂岩；
7－页岩；8－碳质页岩；9－煤层；10－砂质页岩；11－钙质砂岩；
12－石灰岩；13－安山岩；14－安山集块岩；15－火成岩

不发育，距上段厚层灰岩及下伏石炭系厚层灰岩又都较远。故妥坝组及乌丽组煤层开采时将以裂隙水为主。其水文地质条件应是很简单或较简单。但煤田构造复杂，断层众多，当断层使煤层与上段或下伏厚层石灰岩直接接触时，有可能遇到岩溶水问题。

第二节　中生代煤田水文地质概述

我国中生代的主要聚煤期有晚三叠世，早、中侏罗世，晚侏罗一早白垩世。晚三叠世煤田主要分布于昆仑一秦岭东西构造带以南的地区，以北的鄂尔多斯盆地、新疆天山南麓的库车地区，吉林东部的浑江流域亦有零星分布。早、中侏罗世煤田主要分布于西北地区及华北地区，华南的粤、湘、干、闽、鄂等省亦有零星赋存。晚侏罗一早白垩世煤田则集

中分布于东北地区及内蒙东部地区，在西藏南部怒江以西的八宿、路崖、边坝一带及阿里地区亦有早白垩世煤系沉积。沿雅鲁藏布江还分布有晚白垩世煤系。

古生代末期，西伯利亚大陆、我国北方大陆与南方大陆先后碰撞和对接，位于北、中、南三大带中的海槽先后封闭和隆起。至中生代初已形成了统一的中国大陆，而不再是以前的北、中、南三大带彼此分离、各自独立运动的局面了。这是中国大地构造史上一个根本性的转折点。从而使我国中生代及新生代的煤田分布也不再像古生代那样完全受制于北、中、南三大带各自的构造运动，而是转为以受气候因素控制为主。但是，陆块碰撞后所形成的结合带高山屏障，还对气候分布存在一定的影响；同一气候带中煤田的具体分布也仍受地质构造所控制；原三大带的构造运动在中生代初期还存在一定的继承性，也对煤田的具体分布产生一定的影响。

晚二叠世晚期，我国潮湿气候带的北缘已南移至秦岭一大别山以南，广大华北地区均转为干燥气候。至早、中三叠世，干燥气候带又进一步扩大，我国基本上均处于干燥气候区，不利于成煤。晚三叠世，秦岭一大别山以南又再次出现热带、亚热带潮湿气候，秦岭与阴山构造带之间则为温带半潮湿气候。决定了我国晚三叠世含煤地层主要分布于秦岭一大别山以南，其次是华北和西北地区。早、中侏罗世，华南地区由半潮湿转向干燥，华北的西北地区则由半干燥转向潮湿，故早、中侏罗世煤田主要分布于华北及西北地区，其次为华南地区。至晚侏罗一早白垩世，从山东至宁夏南部一线以南的广大地区均属热带、亚热带干燥气候区，以北则为温带潮湿、半潮湿气候区，尤其东北及内蒙东部由于受古太平洋季候风影响，气候十分潮湿多雨，故晚侏罗一早白垩世煤田，主要分布于东北及内蒙东部地区。

地质构造因素则控制了各时代煤田的具体分布及其具体的煤田地质及水文地质特征。

一、晚三叠世煤田

晚三叠世时，昆仑一秦岭一大别山以南属于热带、亚热带潮湿多雨的气候环境，植物生长茂盛，有利于成煤。昆仑一秦岭一大别山与阴山一燕山之间的广大地区则为温带半潮湿气候带，也可以成煤，但吕梁山以东为隆起区，缺乏晚三叠世沉积，只在吕梁山以西的一些盆地中具有成煤条件。至阴山一燕山以北，则为干燥气候带，且东北地区隆起为东北高地，缺乏沉积，不具备成煤条件。故我国晚三叠世聚煤作用主要发生在昆仑一秦岭一大别山以南的地区，其次是阴山以南、吕梁山以西的东北地区及西北地区。

在华南地区，早、中三叠世仍继承了晚古生代的构造和古地理面貌印支运动使我国南方广泛隆起为陆，海水分别向东南和西南撤退，并在华南东部呈现出一系列的大致呈北东向排列的隆起与坳陷相间的古地理景观。自东南至西北有浙、闽、粤坳陷带，武夷、诸广隆起带，湘、赣坳陷带，雪峰、九岭隆起带，下扬子坳陷带，川、鄂、黔隆起带，四川盆地等。在上述坳陷带中沉积了晚三叠世内陆山间盆地型、滨海湖盆型及清湖海湾型含煤地层。如湘南粤北的红卫坑组，湘、赣地区的安源组，闽南、粤东的大坑组及文宾山组，闽西北、湘西的焦坑组，浙、赣交界的乌灶组，鄂东南的鸡公山组，皖南的拉犁尖组，苏南的范家场组，四川盆地的须家河组和雾中山组。其中以赣中湘南的安源组及四川盆地的须家河组含煤性较好，安源组含可采煤层 1～15 层，须家河组含可采煤 1～9 层，均为薄煤层，仅局部达到中厚煤层，其它地区则均只含局部可采煤层。

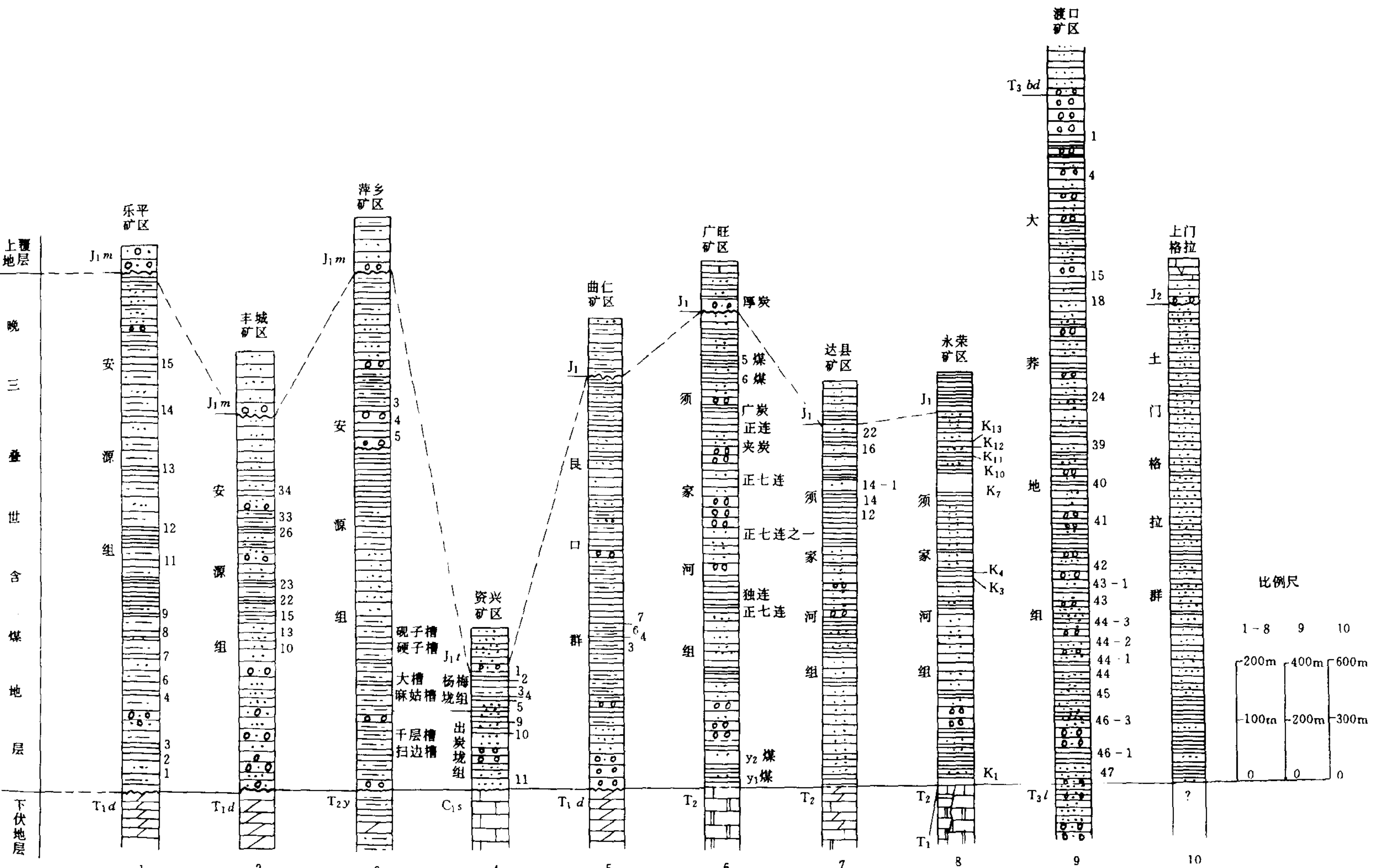


图1-34 部分矿区晚三叠世含煤地层柱状图

在华南西部则沿川滇构造带及青藏川滇扭动构造发育着一系列的南北向以至北西向的断陷带，普遍在其中沉积了较重要的晚三叠世含煤地层。如凌口宝鼎、红泥断陷盆地的大荞地组，滇中断陷盆地的一平浪组，藏东、川西、滇西坳陷带的土门格拉群及巴贡组，均含有多层可采煤层，尤以四川凌口大荞地组含煤最好，可采 2～73 层，可采总厚 1.87～58.5m。

在华北地区，太行山以东在三叠纪时长期隆起为剥蚀区，以西则在晚二叠系石千峰组之上连续沉积了三叠系。在鄂尔多斯盆地还沉积了晚三叠世晚期的瓦窑堡组含煤地层。但在三叠纪末，鄂尔多斯盆地普遍隆起并发生宽缓褶皱，使瓦窑堡煤系大部剥蚀，仅在盆地中部保存一小部分。煤层多而薄，可采二层，可采总厚度 2.75m。

在青海祁连山南麓的木里、西宁盆地（默勒群），新疆准噶尔盆地（郝家沟组），天山南麓的库车盆地（塔里奇克组）亦有晚三叠世含煤地层分布，可能与西域系坳陷带及天山南麓的坳陷带有关。库车盆地的塔里奇克组含煤较好，可采 15 层，平均可采总厚 35.41m，最厚 51.28m；默勒群则含煤性较差，煤层薄而不稳定。

现将部分主要矿区（或煤田）的晚三叠世含煤地层柱状图列于图 1－34。我国晚三叠世含煤地层除了西藏东部的土门格拉群含有少量薄层石灰岩存在裂隙岩溶水外，其他地区均不含石灰岩。煤层中以砂质岩层中的裂隙水为主，不含岩溶水，其水文地质条件一般均比较简单。煤矿充水因素主要为大气降水、地表水或新生界砂砾层水通过风化裂隙、构造裂隙进入矿井。矿井涌水量一般每小时只有十几立方米至几十立方米，雨季时往往能增大到每小时几百立方米至千余立方米。如四川盆地达县矿区柏林煤矿涌水量平时每日不足 $2000m^3$，但雨季时可达 1～3 万 m^3。在开采浅部煤层时还须注意老窑积水。

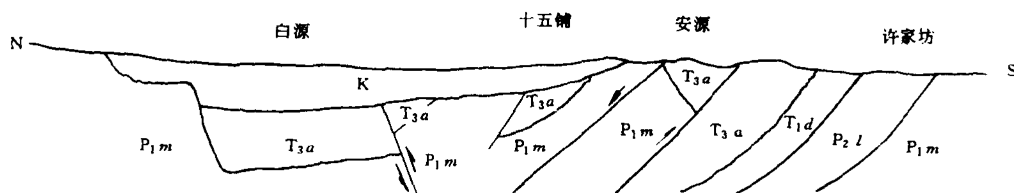


图 1－35　萍乡矿区许家坊—白源剖面示意图

P_1m－茅口灰岩；P_2l－龙潭组；T_1d－大冶灰岩；T_3a－安源组；
K－白垩系（红色砂砾岩、砂岩、粉砂岩）

此外，在赣中的萍乡东平、安福、花鼓山等矿区，安源组的下伏地层为早三叠世大冶灰岩，并部分地不整合于长兴灰岩及茅口灰岩之上（图 1－35、图 1－36）；粤北的红卫坑组则直接覆于早石炭世石灰岩之上；四川盆地的须家河组的下面伏有中三叠世的雷口坡灰岩及早三叠世嘉陵江灰岩（图 1－37），均不同程度地存在底板岩溶水问题，萍乡煤矿遇茅口灰岩时的涌水量曾达 $4998m^3/h$。

广东圹村的晚三叠世含煤地层被石炭系石灰岩飞来峰所覆盖（图 1－38），西藏土门格拉晚三叠世含煤地层的上覆地层为侏罗纪石灰岩，因而存在顶板岩溶水问题。

断层还往往使含煤地层与下伏或上覆灰岩含水层直接接触或成为灰岩水进入矿井的通

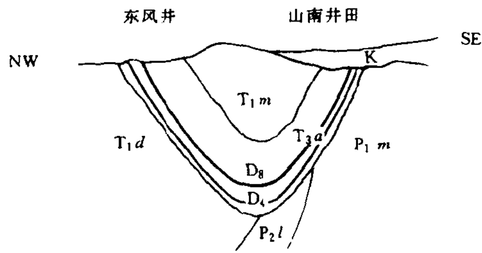


图 1-36　花鼓山煤矿剖面示意图

D_4、D_8 - 煤层编号

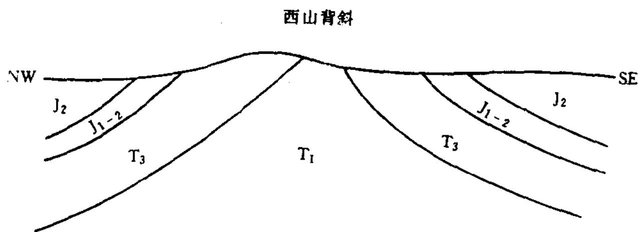


图 1-37　永荣矿区西山背斜剖面示意图

T_1 - 嘉陵江灰岩；T_3 - 须家河组；J_{1-2} - 自流井群；J_2 - 沙溪庙组

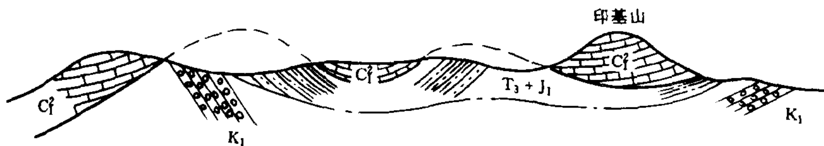


图 1-38　广东唐村飞来峰构造示意图

道。江西萍乡矿区青山煤矿遇滴水岩断层时的涌水量为 234m^3/h。

二、早、中侏罗世煤田

晚三叠世末的印支运动对我国东部地区影响强烈，不利于成煤。西部地区则印支运动不明显。在天山南、北的准噶尔、吐鲁番及伊宁盆地，下侏罗统与上三叠统为连续沉积，且气候潮湿，聚煤作用发育良好，形成了大型煤田。早侏罗世晚期至中侏罗世，东部地区地壳活动渐趋稳定，地势渐趋夷平，气候亦由半干旱转向潮湿，因而聚煤作用亦从西部扩展至整个西北、华北地区。华南地区在早侏罗世早期气候虽比较潮湿，但由于印支运动的影响，地形差异显著，聚煤程度弱。后期地势虽渐趋夷平，但气候又转为干旱，聚煤作用衰退，故华南诸省的早、中侏罗世含煤地层分布虽较广泛，但含煤性都较差。

早、中侏罗世是我国最主要的聚煤期，其煤炭储量约占我国煤炭总储量的60%。早、中侏罗世的主要煤田多形成于天山一阴山及秦岭一昆仑两大东西构造带南、北两侧的坳陷带和内部次级坳陷内。自西而东有塔里木南、北缘，伊宁，准噶尔，吐鲁番，柴达木北缘，青海大通河、靖远一会宁，鄂尔多斯，大青山，大同，北京，蔚县，北票，田师付等主要煤田。其中以准噶尔盆地规模最大，鄂尔多斯盆地次之；塔里木南、北缘煤盆地，吐鲁番煤盆地及伊宁煤盆地亦匀为规模巨大的大型煤盆地；其他则均为中、小型煤田。

我国北方的早、中侏罗世含煤地层全为陆相沉积。除了河北的蔚县煤田早侏罗世含煤地层直接超覆于寒武系及奥陶系石灰岩之上，吉林的杉松岗煤田由于燕山期逆掩断层的多次推覆，使早侏罗世含煤地层与中奥陶统石灰岩多次交互叠置呈多层叠牒状（图1-39），因而存在岩溶水的威胁，其水文地质条件比较复杂外，其他煤田含煤地层的上覆及下伏地层亦均为陆相沉积，以含裂隙水为主，孔隙水次之，均不存在岩溶水问题，其水文地质条件都比较简单。

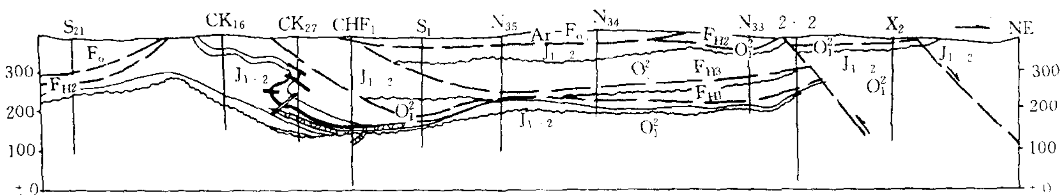


图1-39　杉松岗煤田杉松岗平面图
（吉林煤田地质研究所杨仲勋提供）

现将其中几个有代表性的煤盆地或煤田，地质及水文地质条件简介于下：

1. 准噶尔煤盆地

准噶尔煤盆地位于新疆北部天山、阿尔泰山及扎依尔界山之间，盆地面积近20万km^2，略呈三角形，为我国规模最大的早、中侏罗世煤田（图1-40），同时还蕴藏有丰富的石油。该盆地自三叠纪开始，中、新生代不断沉降，接受了万余米的巨厚沉积。其中早、中侏罗世含煤地层水西沟群断续出露于盆地边缘，以盆地南缘发育最好，西起乌苏，东至吉木隆尔，绵延500余公里。水西沟群自下而上可分为八道湾组、三工河组及西山寨组。八道湾组属早侏罗世，假整合成连续沉积于上三叠统小家沟群之上。为湖泊、沼泽相沉积，主要由灰白色、灰绿色砂岩、砾岩，灰黑色、紫红色泥岩，粉砂岩、夹煤、炭质泥岩及菱铁矿组成。含可采煤层10层，可采总厚达10.7~16.41m。属中灰低硫气煤和气肥煤。三江河组属早一中侏罗世，为湖相沉积，由灰黄色、灰绿色泥岩、砂岩、砂砾岩，灰褐色砂质泥岩、粉砂岩、炭质泥岩夹煤线组成，并夹有迭锥状湖相灰岩。本组不含可采煤层。西山寨组属中侏罗世，为湖泊、沼泽相沉积。由灰绿色、灰白色砂岩、砾岩，灰绿色、灰兰色泥岩、粉岩岩、炭质泥岩及煤层组成，并夹有菱铁矿。含可采煤33层，多为中厚煤层，并有巨厚煤层发育，可采总厚108.58~151.11m，单层最大厚度达63.96m（B42煤），属中灰中硫气煤和长焰煤。富煤中心位于盆地南缘，沿天山北麓呈条带状展布，盆地中部则覆有巨厚的白垩系及第三系，煤层埋藏很深。

水西沟群及其下伏与上伏地层全为陆相沉积，以砂质岩层中的裂隙水为主，孔隙水次

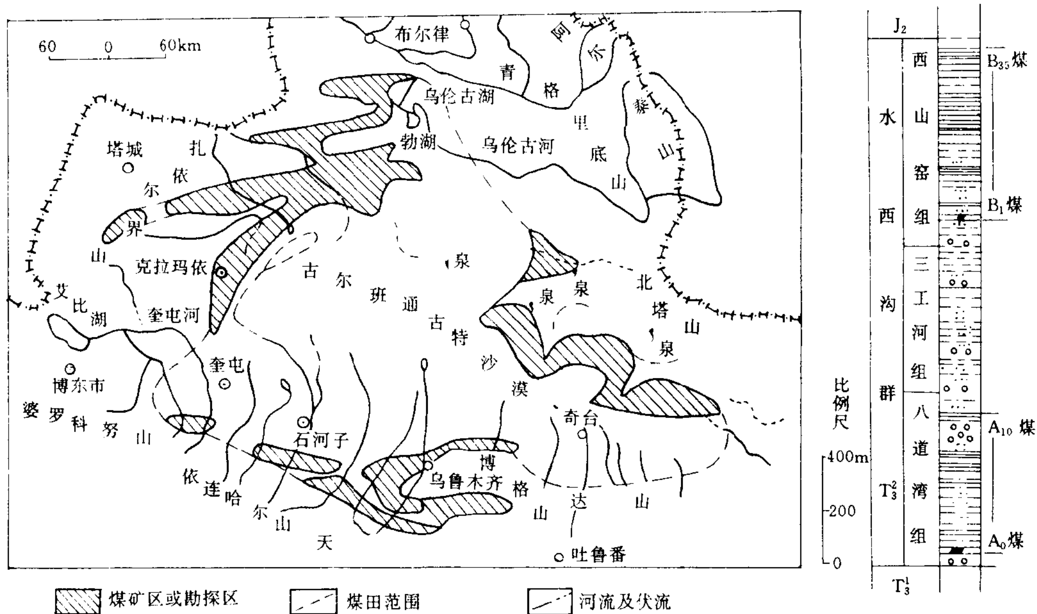


图 1－40　准噶尔煤田平面图及柱状图

之。盆地四周高山常年积雪，冰川发育，夏季雪水融化，汇入盆地，一部分沿盆地边缘基岩露头渗入基岩含水层，一部分由地表流向盆地中部消失于古尔班通古特沙漠之中，最后完全消耗于蒸发。煤层露头部位常有以雪水为源的溪流通过，还往往有冰碛层、冰水堆积或古河床砂砾层沿煤层露头部位展布。这些地表水流及第四系砂砾层中的水，是煤系中砂岩裂隙含水层的主要补给水源，也是煤矿开采时的主要充水来源。愈往盆地中部，则地表水流愈少，气候也愈干旱，补给条件愈差，地下水的交替愈停滞，地下水的排泄愈依赖于蒸发，水的矿化度愈高，形成明显的水平分带性。盆地边缘的矿井涌水量一般为 $100m^3/h$ 左右，最大可达 $870m^3/h$。矿井水主要来自浅部，愈往深部则补给条件与岩层裂隙发育程度均愈差，矿井水量增加愈少，或基本不增加。故矿井涌水量主要随着走向开采长度的增大而增大，随着距地表水、古河床沙砾层或冰水堆积层的距离的增大而减小。与开采深度的关系则不显著。

2. 鄂尔多斯煤盆地

鄂尔多斯盆地是我国第二个特大型早、中侏罗世煤盆地。其规模仅次于准噶尔盆地。面积约 18 万 km^2 。北至阴山南麓，南至秦岭北麓，东界吕梁山，西抵贺兰山。包括内蒙的东胜煤田，陕西的榆神府煤田，宁夏的碎石井煤田，甘肃的华亭煤田、安口一新窑煤田，以及这些煤田所包围的广大范围（图 1－41）。盆地中除了早、中侏罗世含煤地层外，还广泛地下伏有石炭二叠纪含煤地层；在陕西的富县—横山一带还下伏有晚三叠世含煤地层（瓦窑堡组）。早、中侏罗世含煤地层自下而上可分为富县组（J_1）、延安组（J_{1-2}）、直罗组（J_2^1）和安定组（J_2^2）。其中延安组为主要含煤地层，其他仅局部夹有薄煤或煤线。延安组主要由河床相砂岩，湖泊相泥岩、粉砂岩、滨湖相砂质泥岩、细砂岩及湖泊沼泽相

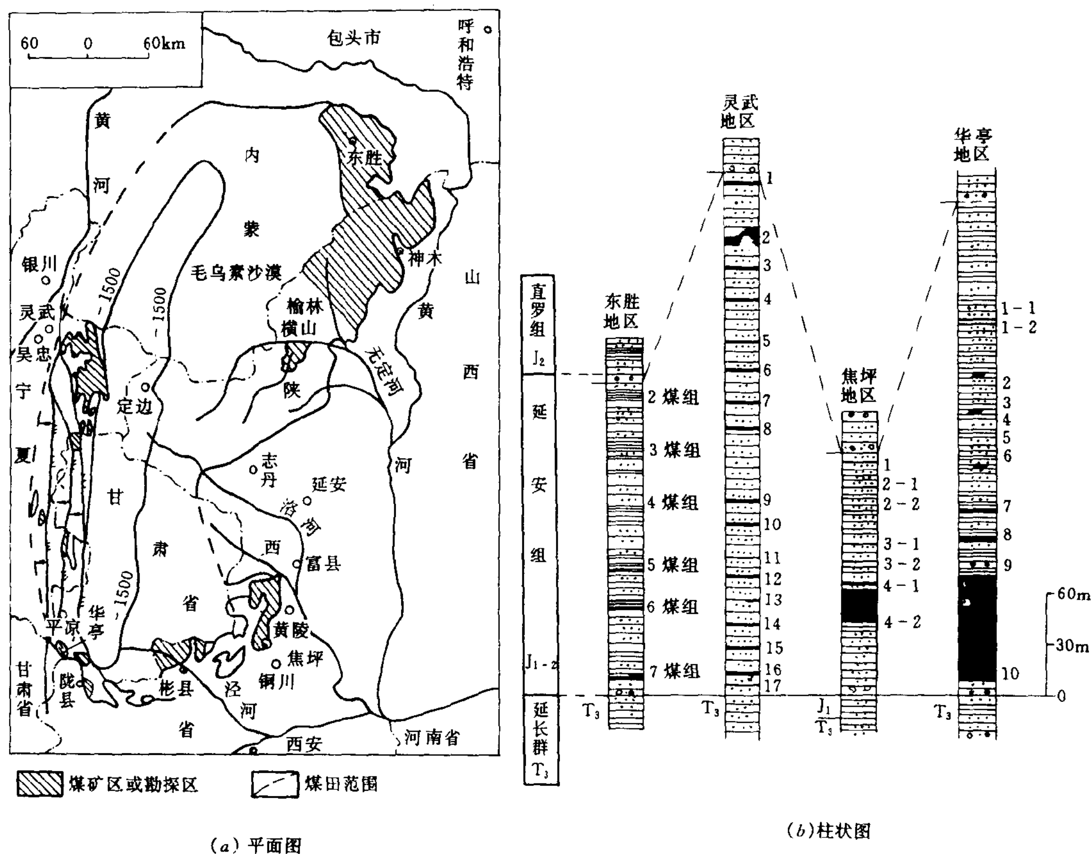


图1-41 鄂尔多斯煤田平面图及柱状图

炭质泥岩和煤交互组成。含煤 10 组，每组均有 1～3 层可采煤层。在东胜煤田，可采 4～11层，单层最厚 10.33m ；在榆神府煤田，可采 4～10 层，单层最厚 12.07m ；在碎石井煤田，可采 6～14 层，单层最厚 12.52m ；在焦坪煤田，可采 1～3 层，单层最厚达 34m（42 号煤）；在华亭煤田，可采 5～7 层，单层最厚可达 60.19m（10 号煤）。

鄂尔多斯煤盆地不仅规模巨大，而且地层平缓，构造简单。除了盆西部边缘地带有少量断层，并使岩层倾角局部变陡外，广大范围内均未发现断层，岩层倾角只有 3°～5°。一般呈非常宽缓的向斜和背斜，作波状起伏。许多地段适于大型露天开采。

鄂尔多斯盆地南部为半干旱黄土高原，北部为干旱沙漠地带，降水稀少，地下水补给条件差。延安组岩石粒度组成较细，裂隙一般不发育，含水比较微弱。但在煤层露头部位，由于煤层曾普遍自燃，使每一煤层露头部位的顶板存在十数米至数十米的“烧变岩”带，不但裂隙异常发育，而且存在许多空洞，裂隙最大宽度可达 14cm，空洞最大直径可达 10cm，含水比较丰富。还由于煤层层数较多，层间距较小，地层倾角平缓，各层的“烧变岩”连成一片，形成一个分布较广的含水带（图 1-42）。在沟谷中往往有泉出露，大者可达 78.3～311.7m^3/h ，而且水质优良。因此，“烧变岩”带无论对于煤层开采或对于矿区供水，都不宜忽视。

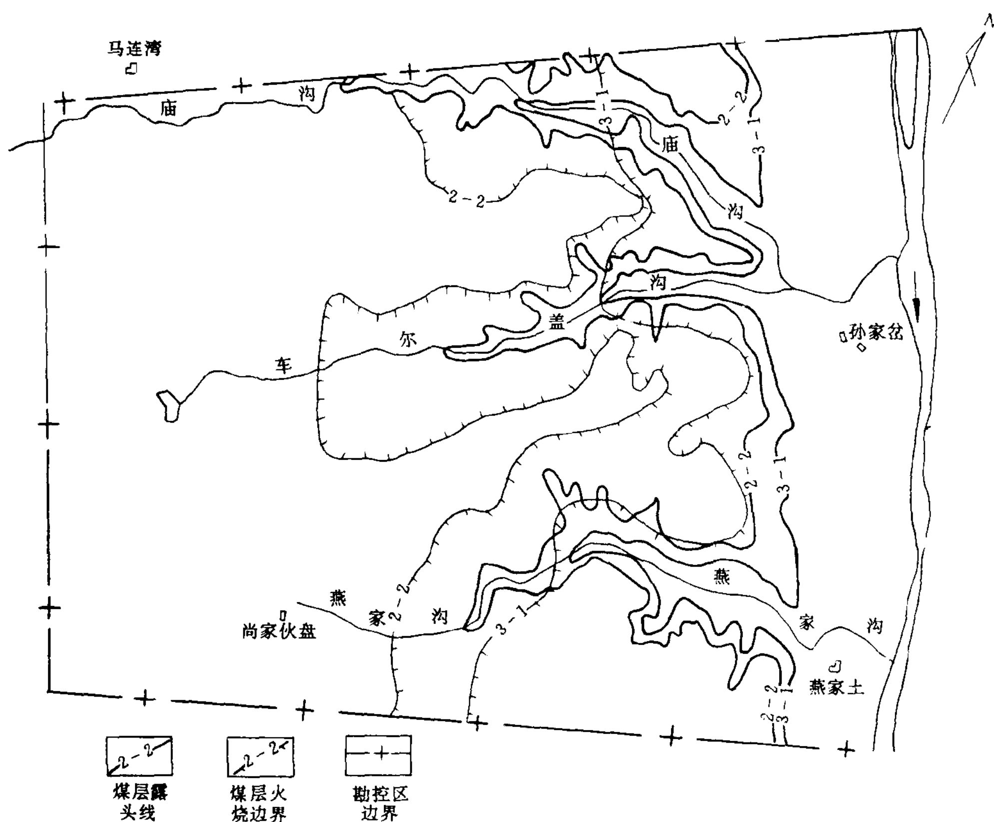


图 1－42　神木北部孙家岔勘探区主要煤层火烧范围示意图

（据尚桂林、蒋新民、刘大民，略有删节）

分布于煤层露头之上的第三纪及第四纪含水砂层及砂砾层，虽然厚度、水量都不大，但在浅部开采时，常发生突水、溃砂事故，给煤矿生产带来很大麻烦，甚至能造成矿井淹没，必须予以事先疏干。

延安组的下伏地层晚三叠世延长群亦为陆相沉积，含水非常微弱，因而不存在底板水问题。延安组的上覆地层为中侏罗世直罗组，其上部泥岩、粉砂岩段为相对隔水层，它有效地阻止了白垩系洛河砂岩含水层及新生界含水层中的水，使其难以对开采延安组煤层的矿井充水。下部中粗砂岩、砂砾岩段为弱含水层，一般厚 40～60m，最厚可达 125m。浅部裂隙较发育，泉水流量 0.01～1L/s，钻孔单位涌水量 0.01～0.2L/s·m，40m 以下富水性减弱，钻孔单位涌水量＜0.01L/s·m。矿化度亦随之增高，在黄陵矿区中深部高达 14.1g/L。地下水已非常停滞，对煤矿开采无甚危害。

现有生产矿井的涌水量一般都不大。主要充水水源为风化带裂隙水或第四系含水层中的水通过风化裂隙带渗入矿井。此外，还须注意老窑积水与烧变岩带中的水。

本盆地早、中侏罗世煤田的供水水源都比较困难，尤以北部、中部为甚。可作为取水对象的含水层有：①奥陶系灰岩含水层。分布于盆地南部及东部边缘。含水虽然比较丰富，可作为大型供水水源，但距早、中侏罗世煤田都较远，建设水源工程的费较高。②侏

罗系烧变岩含水层。分布于各煤层露头部位。虽然距矿区很近，可以就地取水，但其分带范围有限，含水不很大，且易受矿井疏干影响，只可作为小型临时水源。③白垩系洛河砂岩含水层。广泛分布于煤系之上。距矿区较近，且其下有直罗组上部泥岩隔水层，不易受矿区疏干影响；但其含水性只属中等，钻孔单位涌水量在 1L/s·m 左右，只宜建立中、小型水源。且其岩性由南向北逐渐变细，含水性亦逐渐变小，至榆神府矿区已失去供小价值。④第四系砂砾含水层。呈条带状分布于各河流的河谷中。在盆地南部和西部粒度较粗，水量较大，可建立中、小型水源地；在北部和中部则粒度较细，渗透性能较小，厚度也低薄，在有利地段可以建小型水源。

3．大同煤盆地

大同煤盆地位于山西省北部，为一具有石炭二叠纪与早一中侏罗世双套含煤地层的煤田，是我国重要煤炭基地之一。含煤盆地呈北东向椭圆形分布，含煤面积约 1800km^2。其中早一中侏罗世含煤地层又呈较小的北东向椭圆形分于盆地的东北部，含煤面积约 700km^2.

本盆地的早一中侏罗世含煤地层称为大同组。在南部整合于早侏罗世永定庄组之上，向北则不整合超覆于石炭二叠纪含煤地层之上（图 1－43)。大同组由灰白色砂岩、深灰色粉砂岩、泥岩和煤层组成，底部为含砾粗砂岩。属河流相与内陆湖泊沼泽相交替沉积。厚度一般为 220m 左右。其中主要可采 6 层。厚度稳定，煤种为弱粘结煤。下部层以南部发育较好，上部层则以北部发育较好。

大同组的下伏地层永定庄组是一套紫红色粗碎屑岩，主要由粗砂岩、砂砾岩、砂岩、砂质泥岩、粉砂岩组成，厚约 150m。不含煤层。上覆地层为中侏罗世云岗组，是一套灰白、灰绿、紫红色碎屑岩，下部以中、粗粒砂岩、砂砾岩为主，上部薄砂岩、粉砂岩、砂质泥岩互层。厚度约 100～230m。

煤田构造为一北东向不对称向斜。西北翌宽缓，倾角仅 5°～15°，并被白垩系所覆盖；东南翌狭窄，倾角 20°～60°，边部直立或倒转。较大断层仅见于东南及东北边缘，向斜的内部只有落差 5～10m 的小断层。

大同煤田处于半干旱黄土高原，多年平均降水量仅 419.88mm（1972～1983 年），多年平均蒸发量 1811.7mm。蒸发量大于降水量 4.3 倍。且降水比较集中（每年 7～8 月），易于成洪峰排泄，故地下水的补给条件差。

煤田内主要含水层为十里河及口泉沟河谷第四系砂砾含水层，厚度为 0～20m，钻孔单位涌水量为 1.21～9.47L/s·m，对埋藏于河谷地段的浅部煤层开采有一定影响。其次为基岩风化裂隙含水带，在河谷地段一般深度为 30～60m，在两岸台地上则为 50～110m，钻孔单位涌水量为 0.13～1642L/s·m，最大可达 20.07L/s·m。是降水和地表水向矿井充水的主要途径。在风化裂隙带以下，大同组及下伏与上覆地层的含水性都比较微弱，钻孔单位涌水量均小于 0.1L/s·m，对矿井充水作用很小。

大同组煤层除西北部和西南部外，已大部开采。各矿涌水量如下表（表 1－5)。

矿井的主要充水水源为：

①降水通过基岩风化裂隙带补给矿井；

②开采河谷附近的浅部煤层时，地表水及河谷砂砾层水通过基岩风化裂隙带渗入矿井；

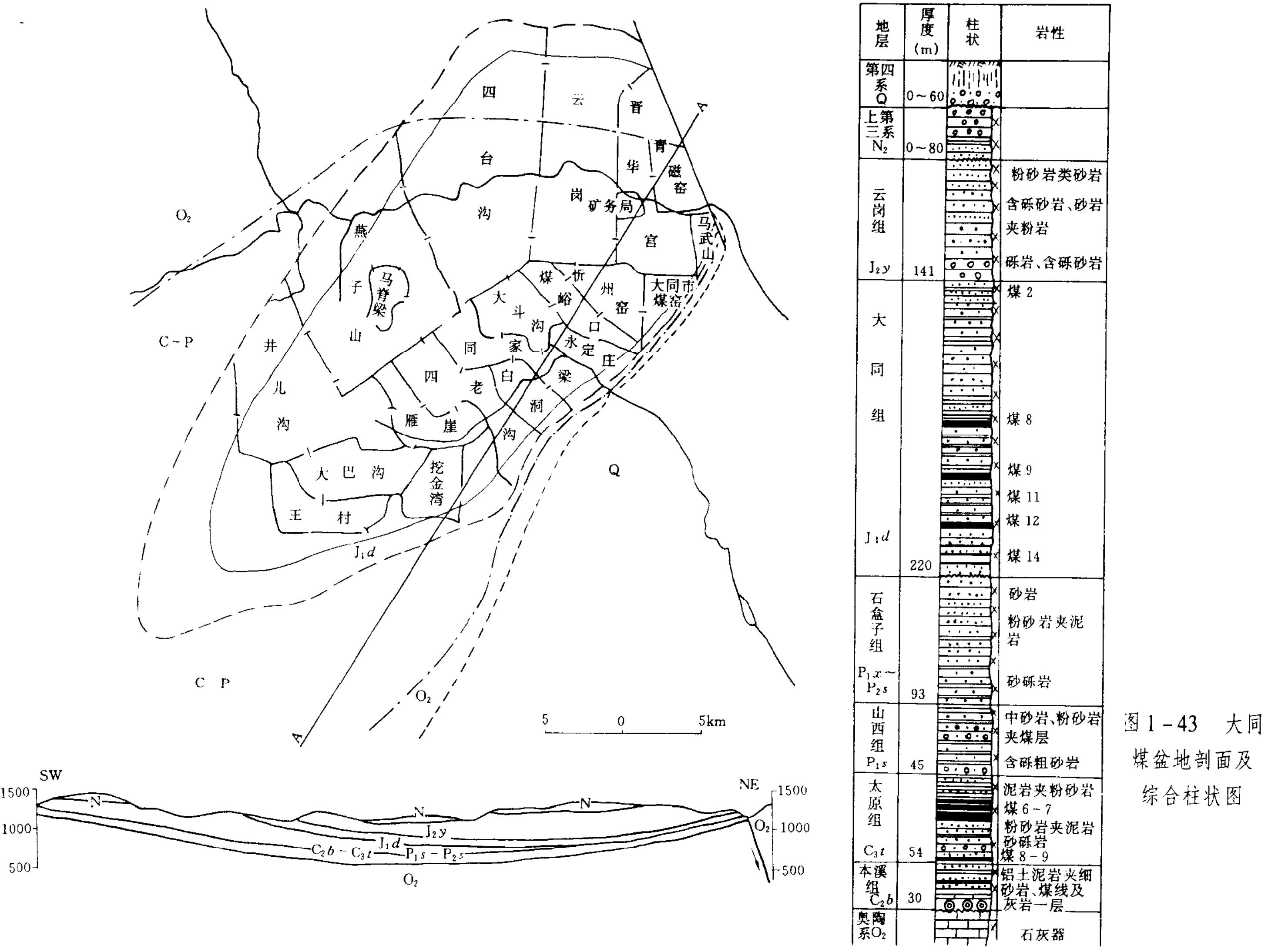


图1-43 大同煤盆地剖面及综合柱状图

表1-5　大同各矿涌水量表

（1985～1986统计资料）

矿井名称	生产能力（万 t/a）	排水量（m^3/d）	矿井名称	生产能力（万 t/a）	排水量（m^3/d）
煤峪口矿	90	2750	晋华宫矿	90	2800
永定庄矿	120	2500	马脊梁矿	30	1300
同家梁矿	120	3750	大斗沟矿	45	713
四老沟矿	150	4072	王村矿	60	2350
忻州窑矿	90	2400	云岗矿	150	3000
白洞矿	90	5042	燕子山矿（建井）	400	618
雁崖矿	90	2000	四台沟矿		2830
挖金湾矿	30	1700			

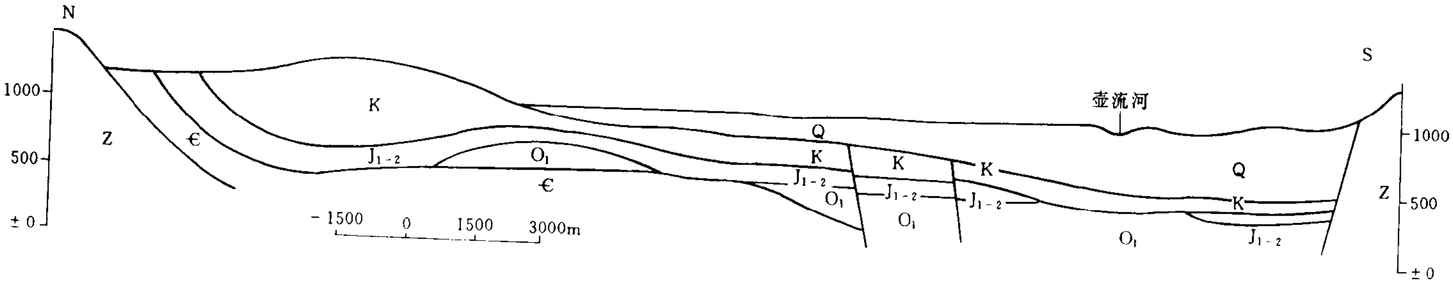


图1-44　蔚县煤田剖面图

③浅部老窑积水；

④断层出水，矿区内的断层一般不含水或含水甚微。但当断层通过河谷地带时，断层裂隙带可能含水。如燕子山低坊头进风井2号回风槽于1984年3月17日掘进至580m处，遇一走向北东、断距仅有0.81m的小断层，曾出水60～80m^3/h。12h后水量变小，现只见滴水和细流。

4. 蔚县煤田

蔚县煤田位于河北省西部蔚县断陷盆地的西部，面积约600km^2。含煤地层为早一中侏罗世下花园组，主要由泥岩、粉细砂岩、中粗砂岩和煤层组成，厚度49.6～345.8m，平均232m。含可采煤层8层，主要可采4层，并集中于下部。其沉积基底为下奥陶统及寒武系。下奥陶统主要由厚层状结晶白云岩、灰质白云岩及灰岩组成；寒武系由厚层状灰岩、鲕状灰岩及竹叶状灰岩组成。前者组成煤田的南部基底，后者组成煤田的北部基底(图1-44)。

下花园组的上覆地层由下至上为中侏罗世九龙山组、髫髻山组及后城组。九龙山组为一套凝灰质胶结的杂色砂砾岩、粗砂岩、中砂岩及粉细砂岩；髫髻山组为一套由安山岩、安山集块岩、火山角砾岩及凝灰质砂砾岩组成的火山碎屑岩；后城组为一套泥质胶结的杂色砾岩、凝灰质砂岩及砂砾岩。在煤田南部还广泛覆盖有第四系砂砾、粉细砂、亚粘土及黄土。

煤田内构造简单，岩层倾角平缓，仅5°～15°，总体走向北东东，倾向南东，并作波状起伏。断层有北东东和北北西两组，前者多为高角度正断层，后者多为平推逆断层。

由于本煤田含煤地层下花园组直接覆于寒武系及下奥陶统石灰岩之上，而且主要可采煤层又集中分布于下花园组的下段，其中1号煤层开采时存在底板岩溶水的威胁。这是本煤田在水文地质条件上不同于前述各早、中侏罗世煤田的显著特点。而这一特点又是由本煤田特定的地质历史与所处的大地构造部位决定的。

本煤田位于华北古生代坳陷的北缘及天山一阴山巨型构造带东段的南缘，在印支运动中强烈隆起，使中奥陶统及其以上地层全部剥蚀，原来深埋于地下的寒武系及下奥陶统直接出露地表并经受岩溶化。至早侏罗世又发生断陷，在断陷盆地中堆积了早中侏罗世含煤地层，使下花园组直接覆于寒武系及下奥陶统岩溶化灰岩含水层之上，遂形成了今日蔚县煤田不同于其他早中侏罗世煤田的特有的水文地质条件。

由于岩性上的差异，下奥陶统的岩溶发育程度要比寒武系强烈得多。在蔚县南山可见直径数米的大溶洞，盆地西部下奥陶统水神泉的涌水量达690～1200L/s，煤田内的勘探钻孔亦揭露有直径数米至十数米的大溶洞。岩溶裂隙主要发育在灰岩剥蚀面以下50m的深度范围内，95%以上的钻孔在此深度范围内钻进时均发生漏水。钻孔单位涌水量1～3L/s·m，导水系数100～400m^2/d。煤田西部的玉峰山开采1号煤层时曾发生6次底板突水，其中两次导致淹井，其水量分别为600m^3/h及400m^3/h。

寒武系则岩溶化程度较差，在蔚县南山地表虽见有溶洞，但在钻探中一般只见有溶孔，局部见有大于0.1m的小溶洞。钻孔抽水的单位涌水量也一般小于0.1L/s·m。

至于下花园组本身的含水性以及其上覆地层九龙山组、髫髻山组、后城组的含水性，都比较微弱，对煤矿充水作用不大。第四系砂砾层虽含水较富，但有巨厚的相对隔水岩层的阻隔，难以对煤层开采起到直接的充水作用。

在燕山运动及喜马拉雅运动中，蔚县煤田及其周围产生北东东及北北西两组断裂，将原来分布很广的寒武系及奥陶系岩溶含水层切割成为彼此不连续的封闭或半封闭块段。使蔚县煤田处于北有阳原南山断层，南有壶流河断层，东有右所堡松枝口断层，西有暖泉断层四面断层包围之中。其中南、北两面形成隔水边界，东、西两面形成半阻水边界，从而使煤田中寒武系及中奥陶统含水层的补给条件及地下水量受到了很大的限制，使矿区疏干成为可能。这一点，已为南留庄多井干扰抽水资料所证实。

至于我国南方的早侏罗世地层，虽亦有广泛分布，但其含煤性均较差。中侏罗世地层则一般不含煤。早侏罗世含煤地层以鄂西（秭归、荆当）及鄂东南的香溪组，湘南、粤北、桂东的造上组含煤稍好，含有一至数层不稳定的可采或局部可采煤层。香溪组为陆相沉积，其水文地质条一般简单。造上组为泻湖海湾相沉积，水文地质条件中等至复杂。桂东西湾煤田下侏罗统大岭组（J_1d），厚度 120～263m，下部为含煤段，含可采及局部可采煤层 6 层，分上、下两个煤组，煤组间为厚层石灰岩，一般厚度 29m。下煤组为主要含煤段，厚度 0～38m，一般厚度 18.7m；上煤组厚度 0～92m，一般厚度 26.7m。上部无煤段为厚层隐晶质灰岩厚度 0～164m，一般厚度 85m。大岭组之下为天堂组（J_1t），厚度 20～150m，由紫灰角砾岩及紫红色泥岩及硅质泥岩组成。其下伏地层为古生代灰岩（图 1－45），大岭组灰岩及古生代灰岩中均富含岩溶裂隙水，并有富江及拱河流经其上，曾因河水导入矿井而造成停产。

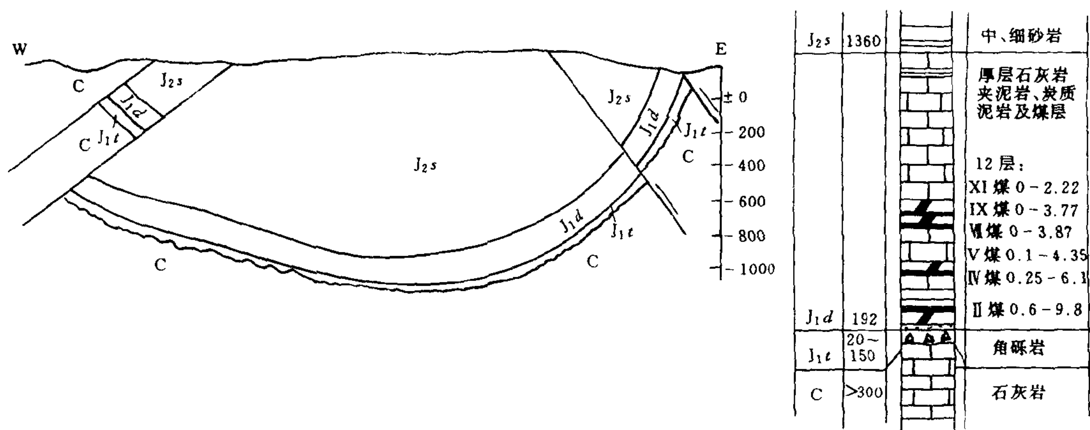


图 1－45　广西西湾煤田示意剖面图

C－石炭系灰岩；J_1t－天堂组；J_1d－大岭组；J_2s－石梯组

三、晚侏罗－早白垩世煤田

中、晚侏罗世之间，强烈的燕山运动使我国东部地区产生一系列的以北北东向为主的断裂和宽缓褶皱，形成了一系列的呈北北东向排列的中、小型断陷盆地及山间盆地群，并在其中堆积了晚侏罗、早白垩世地层。在北纬 40°以北，东经 107°以东，气候潮湿，适于植物生长和堆积，故在此范围内的众多盆地中堆积了重要的晚侏罗一早白垩世陆相含煤地

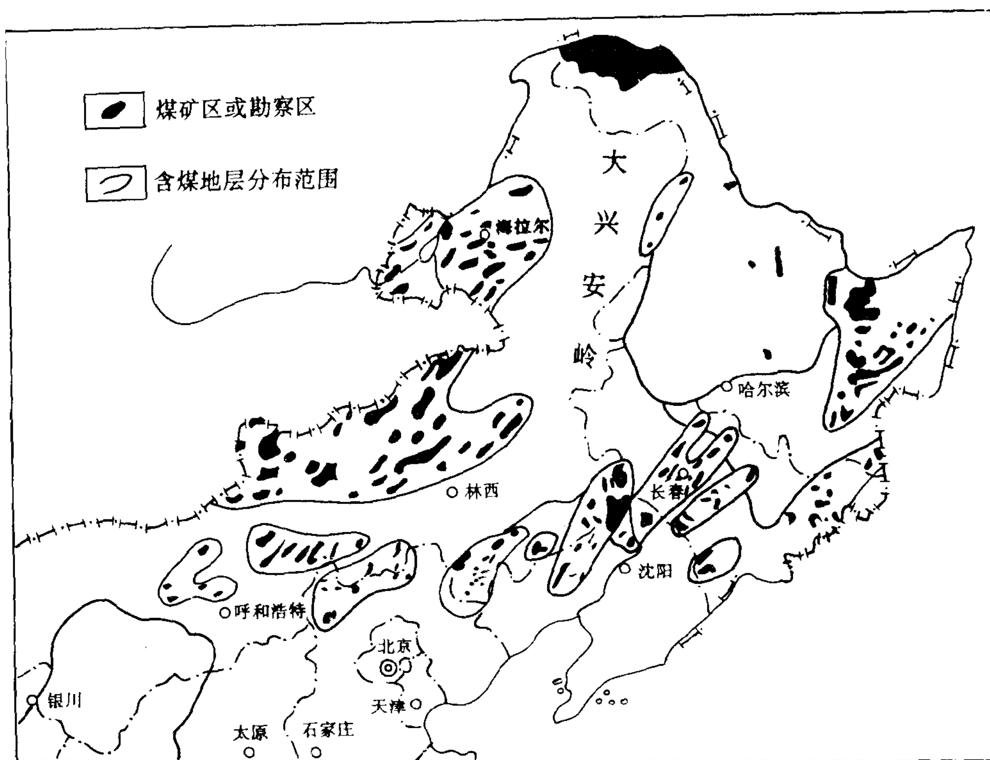


图 1－46　东北及内蒙古东部晚侏罗—早白垩世煤田分布图

层。含煤盆地的面积虽均为中、小型，但数量众多（图 1－46），并常含有厚煤层或巨厚煤层，储量非常丰富。我国最厚的煤层（239m）就产于本区的胜利煤田。我国许多著名的重要煤田如鸡西、鹤岗、双鸭、勃利、蛟河、营城、辽源、铁法、阜新、扎赉诺尔、伊敏、霍林河、平庄等煤田也都分布于本区。

本区晚侏罗一早白垩世主要含煤地层，有鸡西、双鸭山、勃利等煤田的城子河组和穆棱组；鹤岗煤田的石头河组和石头庙组；营城煤田沙河子组；蛟河煤田的奶子山组；辽源煤田的辽源组；阜新煤田的沙海组和阜新组；扎赉诺尔、伊敏、大雁等煤田的大磨拐组和伊敏组；霍林河煤田的霍林河组；平庄一元宝山煤田的杏园组（九佛堂组）和元宝山组（阜新组）及胜利煤田的白音花教群等。其对比关系如图 1－47。

其中城子河组是黑龙江省的主要含煤地层，在鸡西煤田含可采及局部可采煤层 3～17 层，在双鸭山煤田含可采及局部可采 8～16 层，在绥滨集贤煤田的东荣区含可采煤及局部可采煤层 15层，在勃利煤田含可采及局部可采煤层竞达 40 余层之多。阜新组是辽宁省的主要含煤地层，在阜新煤田含煤六组，最大可采总厚 106m；在铁法煤田含煤 20 层，最大可采总厚 52.71m。白音花群是内蒙东部的主要含煤地层，在胜利煤田含可采及局部可采煤层 11 组，其中第 3、4、5、6 煤煤组在盆地中部合并，形成了可采总厚达 239m 的巨厚煤层；在平庄一元宝山煤田称杏园组、元宝山组，含可采及局部可采 4～14 层，可采总厚最大 112m，一般约 50m，单层最大厚度 60.11m；在霍林河煤田称霍林河组，含可采及局部可采 8～13 层，可采总厚最大 101.78m，一般 45～80m ，单层最大厚度 51.38m；在

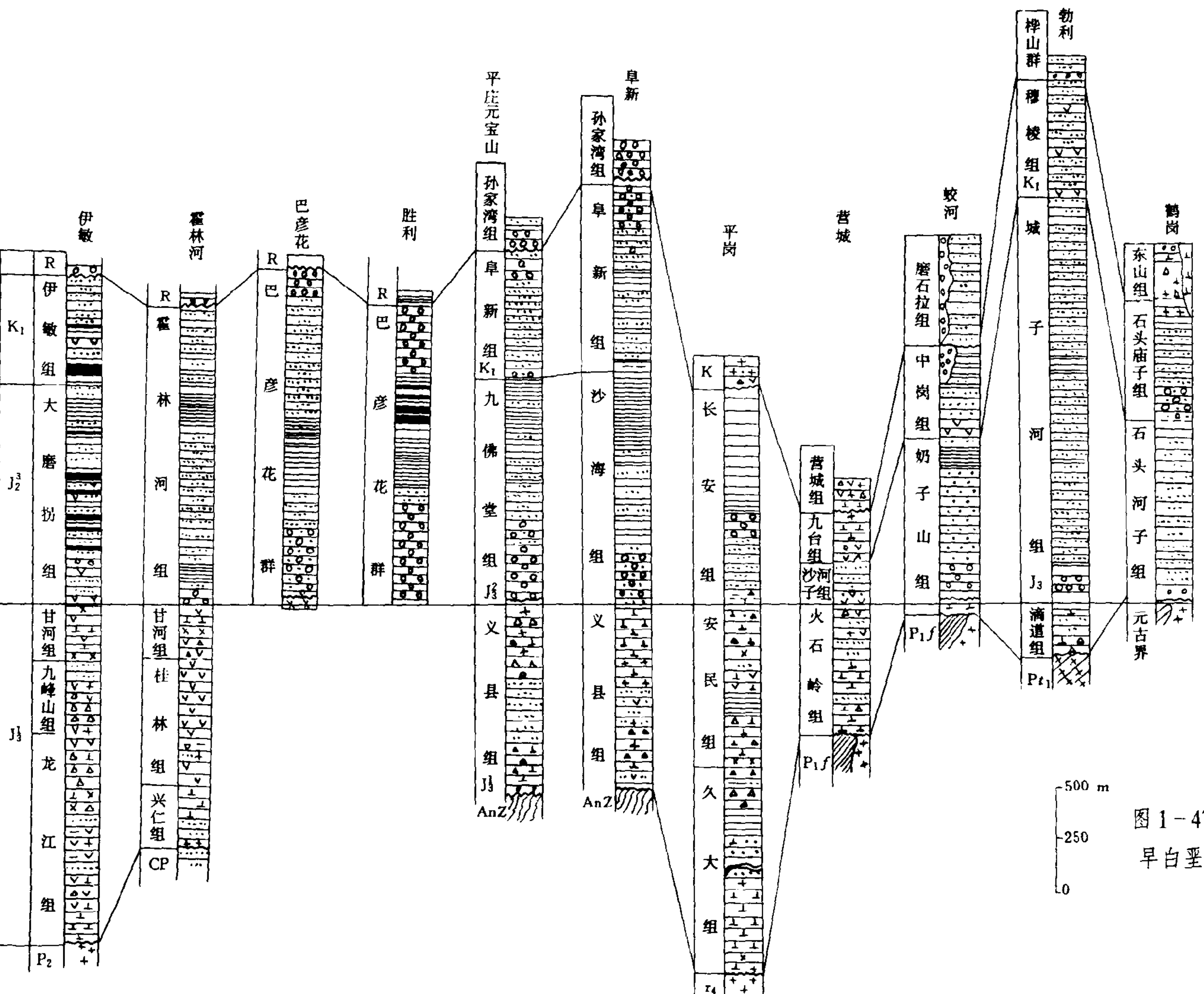


图 1－47 中国晚侏罗世—早白垩世含煤地层对比图

伊敏煤田称大磨拐组、伊敏组，含采及局部可采 38 层，单层最大厚度 50.3m。由于本区许多煤田均含有多层巨厚煤层，很适于大型露天开采。这些煤田多集中分布于大兴安岭以西的内蒙东部地区。

本区晚侏罗—早白垩世含煤地层虽均为陆相沉积，但由于晚期燕山运动及喜马拉雅运动在本区各地所表现的强度和特征有所不同，使本区各地的煤田水文地质条件亦存在着显著的区域性差异。

在大兴安岭以西的内蒙东部地区，晚侏罗—早白垩世含煤地层沉积时及其以后，地壳趋于稳定，构造趋于平静，因而区内各煤田具有煤层厚度大、岩层倾角平缓、断层稀少、

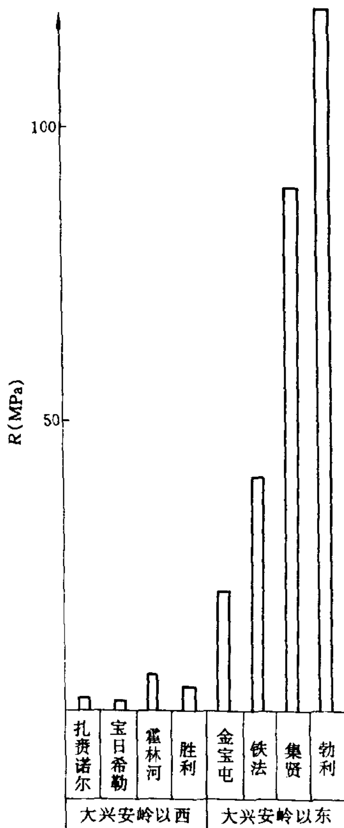


图 1-48 东北区晚侏罗—早白垩世煤田岩石抗压强度对比图

（据顾谦隆提供资料）

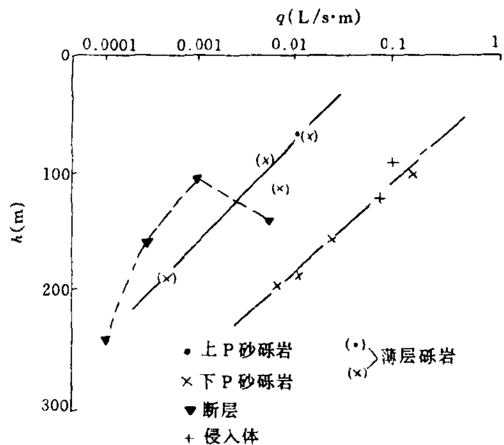


图 1-49 平庄煤田 J_3 岩层钻孔单位涌水量与岩性构造及埋深的关系

（据顾谦隆）

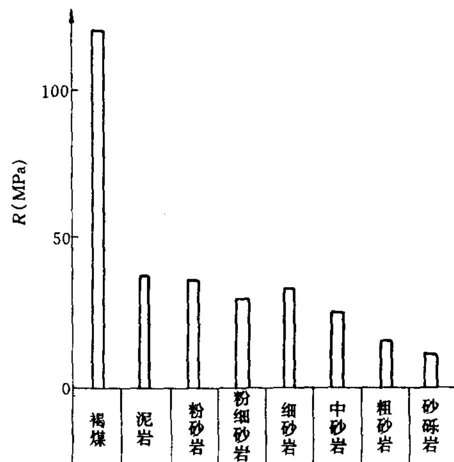


图 1-50 宝日希勒煤田 J_3 岩层抗压强度与岩性的关系

（据顾谦隆）

含煤地层之上基本上无上覆地层、岩石的石化程度与煤的变质程度均较低（煤种为褐煤）等特点。在水文地质及工程地质条件上则表现为：

①砂质岩石仍保持松散或半松散状态，抗压强度很低（图 1-48），组成

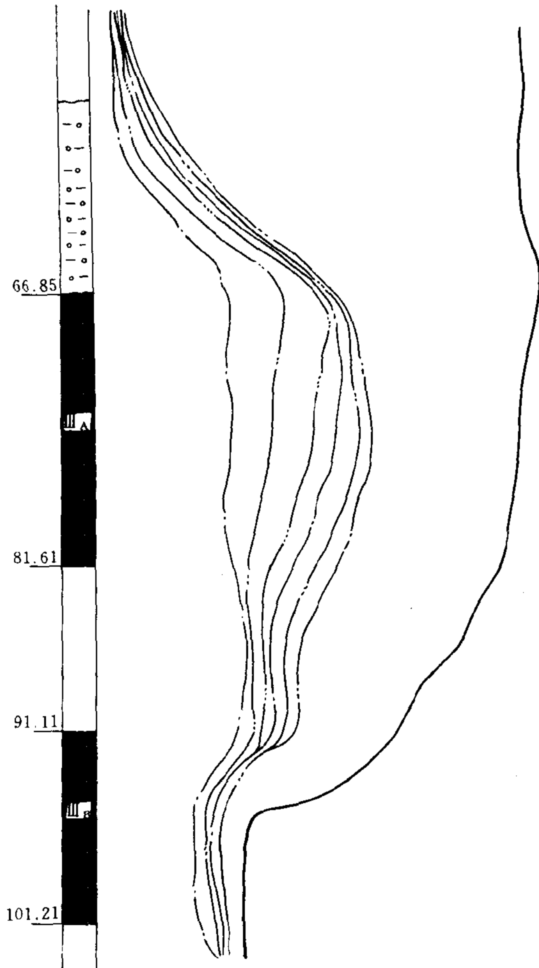


图1-51　霍林河二露天 20—7观测孔井液电阻率浓度测井曲线图

（据顾谦隆）

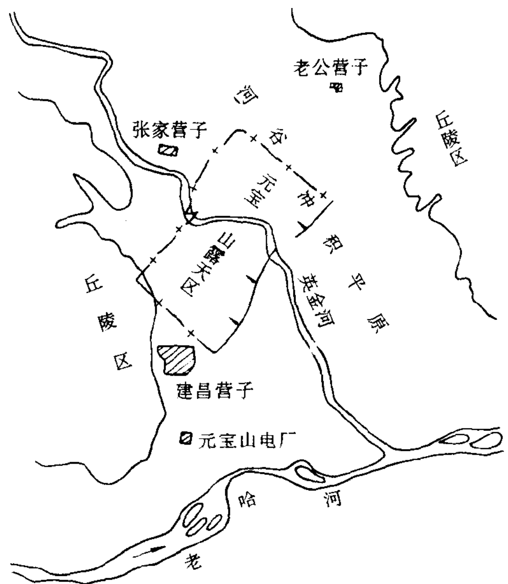


图1-52　元宝山露天区地质环境示意图

岩石的颗粒之间的原生孔隙仍基本保存或部分保存，裂隙不很发育。以含孔隙水为主，裂隙水次之，岩石的粒度组成对其含水性与透水性的大小仍起着重要作用（图 1-49）。泥质岩层仍保持塑性状态，是良好的隔水层。

②煤层比其顶、底板岩层要相对坚硬（图 1-50），在后期形变中易于产生脆性破裂，故裂隙比较发育。裂隙宽度可达 0.25m，含有丰富的裂隙水，常为煤田内的主要含水层（图 1-51），这是本区煤田水文地质条件上的一个显著特点。在伊敏露天区，煤层中钻孔单位涌水量最大可达 20L/s·m，一般也有 2～10L/s·m，在扎赉诺尔矿区，Ⅱ煤的涌水量为 58～250m^3/h。随着埋藏深度的增大，煤层中的裂隙率、裂隙宽度及其含水性的显著减小。

③断层破碎带及其两盘岩层中的裂隙带均不很发育，故断层对于岩层的含水性与透水

性的作用亦不很明显。

④采矿工程地质条件比较复杂。矿井开采时，顶、底板管理和巷道维护都比较困难，扎赉诺尔煤矿灵泉井和铁北区还发生过煤层顶板砂岩涌砂事故。露天开采时，边坡稳定性较差。尤其当露天区之上覆有第四系强含水层时，其水文地质及工程地质条件更为复杂。例如元宝山露天区位于英金河谷之内（图 1－52），上覆有 60m 左右的卵石层，含水异常丰富，钻孔单位涌水量可达 50～143L/s·m，且有英金河流经其上，须采取特殊的防水与疏干措施才能开采。扎赉诺尔灵泉露天，伊敏一、二露天，霍林河二露天的水文地质及工程地质条件也都比较复杂。

在大兴安岭以东则与此显著不同：晚侏罗一早白垩世含煤地层沉积时，地壳振荡运动较频繁，故煤层层数多而厚度薄。含煤地层沉积以后，含煤盆地又继续下陷，沉积了 3000～5000m 的白垩系及第三系地层。含煤地层所承受的压力和温度均较高，岩石的石化

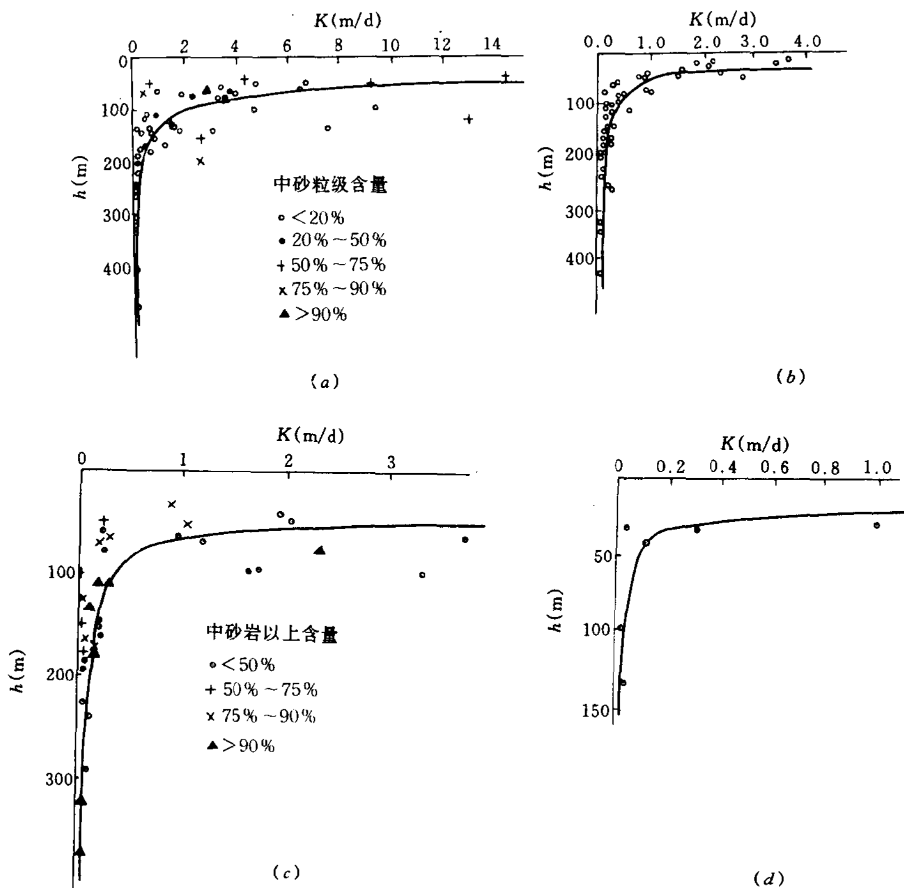


图 1－53 大兴安岭以东晚侏罗－早白垩世煤田岩层渗透性能随深度变化的关系

（据顾谦隆、王庆良）

a－双鸭山煤田；*b*－鸡西煤田；*c*－鹤岗煤田；*d*－勃利煤田

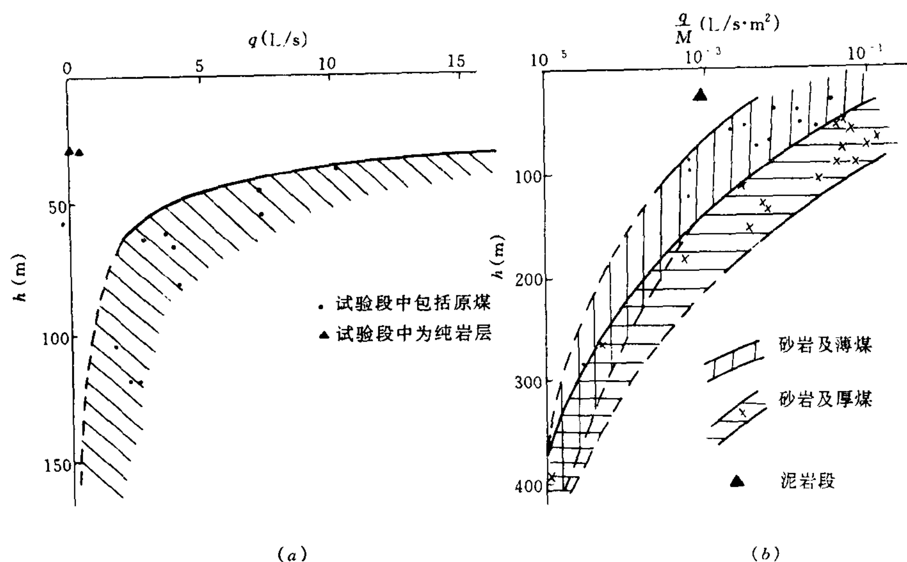


图 1－54 大兴安岭西煤及岩层单位涌水量随深度变化图

（据顾谦隆）

a－伊敏煤田露天矿； b－扎贲诺尔煤田

程度与煤的变质程度也都较高。岩性比较坚硬，煤种为烟煤。组成岩石的颗粒之间的原生孔隙已大部消失。后期构造破坏比较剧烈，断层众多，成岩裂隙及构造裂隙均比较发育。故以含裂隙水为主，孔隙水已降为非常次要的地位。岩石的粒度组成对其含水性与透水性的作用已不甚明显（图 1－53a、c），而主要取决于裂隙发育程度。当岩层埋藏深度较浅时，在各种外营力的综合作用下（包括冰期与间冰期大气候周期的作用）又产生新的风化裂隙，并使原有的成岩裂隙及构造裂隙进一步扩大，构成导水性较强的风化裂隙含水带。随着埋藏深度的增大，裂隙发育程度及其含水性与透水性均显著减小，形成明显的垂直分带性（图 1－53、图 1－54）。东北地区的煤田水文地质工作者通常将风化裂隙含水带划分为强风化裂隙含水带及亚风化裂隙含水带。前者的深度一般为 50～70m ，钻孔单位涌水量可达 1～3L/s·m 后者的深度一般为 120～150m，钻孔单位涌水量通常为 0.1～1.0 L/s·m 以下为正常的层间裂隙含水层，钻孔单位涌水量一般小于 0.1L/s·m 。风化裂隙含水带直接接受降水补给，并常与地表水及第四系砂砾层水相联系。故矿井充水具有浅部大、深部小（图 1－55、图 1－56），靠近河谷地段大、远离河谷地段小的明显规律。

煤层比其顶、底板岩层要相对软弱，在较高的温度、压力下，构造运动中容易产生塑性变形，故其裂隙发育程度要比其顶、底板岩层为差，其含水性与透水性均非常微弱，对矿井充水无明显作用。这与大兴安岭以西的情况显然不同。

由于岩性比较坚硬，在后期的构造运动中容易产生脆性破坏，故本区一些晚期断层（燕山末期及喜马拉雅期）的断层破碎带及其两盘中产生的断层裂隙带一般比较发育，其含水性与透水性一般要比正常岩层为大。当断层与地面水或第四系砂砾含水层的沟通时，往往能造成矿井大量涌水。本区各矿井历年来所发生的较大涌水及突然涌水，大都与断层

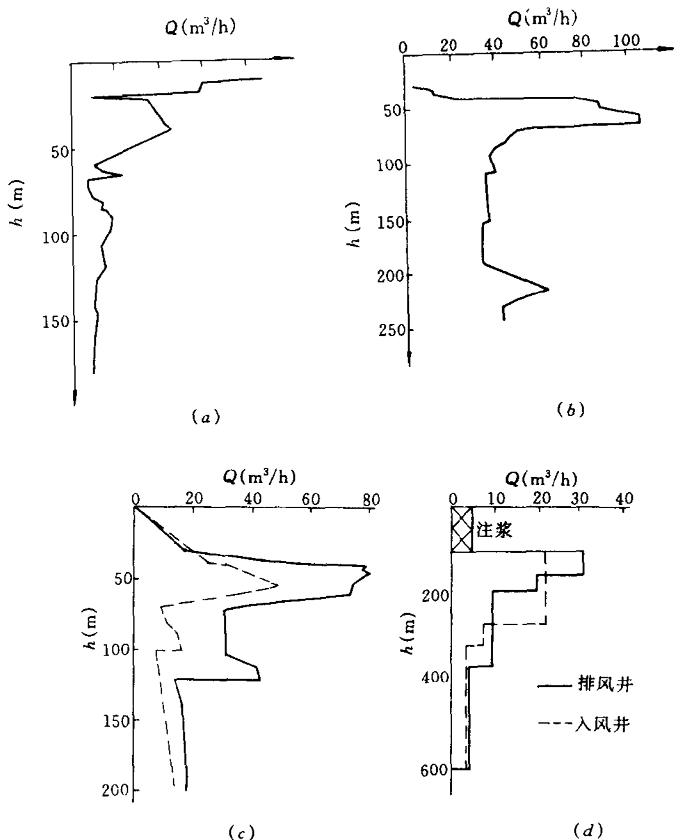


图 1－55　东北晚侏罗－早白垩世煤田立井井筒涌水量与深度的关系
（据顾谦隆）
a－鹤岗东山立井；b－蛟河中岗立井；c－勃利富强立井；d－铁法大兴立井

有关。

燕山运动末期，东满山地相对隆起，松辽平原及三江平原则相对坳陷，喜马拉雅运动仍继承了这种格局。使大兴安岭以东地区的煤田水文地质条件又可分为两种类型：一是位于隆起区的煤田，二是位于坳陷区的煤田。

位于隆起区的煤田的水文地质条件一般都比较简单，只有在河谷地段开采浅部煤层时，地表水及第四系砂砾层水可沿风裂隙带、断层裂隙带或采动裂隙带灌入矿井，其水文地质条件才较复杂。

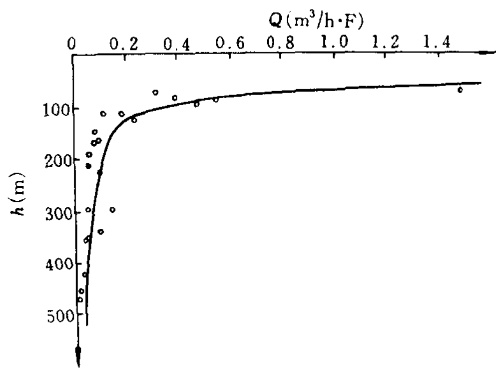


图1－56　鸡西各矿井涌水量与深度的关系

位于松辽坳陷及三江坳陷区的煤田（如红阳煤田及绥滨、集贡煤田），则由于煤层露头隐伏于巨厚的新生界含水层之下，煤层开采时易导致上覆含水层中的水和沙溃入矿井，须在煤层露头部位留设足够的防水煤柱，才能安全开采。井筒开凿时，其水文地质条件及工程地质条件均很复杂，须用特殊凿井方法。

现将东北及内蒙东北部晚侏罗一早白垩世煤田中各生产矿井实际涌水量数字列于表1-6（1984 年统计资料)。

表1-6　东北区及内蒙古东北部晚侏罗一早白垩世煤田中各生产矿井实际涌水量统计表

（1984年资料）

矿区	矿　井	生产能力（万 t/a）	采掘垂深（m）	年平均涌水量（m^3/h）	最大涌水量（m^3/h）	备　注
鹤岗矿区	兴山矿	110	260	90	125	
	岭北露天	90	160	50	80	
	南山矿	210	340	238.8	386.5	
	新一矿	134	541	361	468	
	兴安台矿	260	406	1276	1471	
	富力矿	140	421	120	188	
	大陆矿	70	340	50	70	
	峻德矿	150	185	1000	2000	
双鸭山矿区	岭东矿	60	585	500	800	三井水量之和
	岭西矿	35	522	500	888	
	四方台矿	84	296	50	630	五井水量之和
	宝山矿	75	360	1800	2100	五井水量之和
	七星矿	180	231	250	600	
	双阳矿	90	260	2031	3047	二井水量之和
	新安矿	90	300	500	1022	在建井
	东保卫矿	90	360	998	1320	二井水量之和
	集贤矿	40	244	260	513	
七台河矿区	新建矿	78	280	260	800	
	新兴矿	75	280	260	800	
	新立矿	30	230	600	750	
	桃山矿	75	281	156	231	
	东风矿	24	424	89	130	
	富强矿	60	249	500	800	
鸡西矿区	恒山矿	110	437	300	700	二井水量之和
	滴道矿	160	739	4115	1023.3	五井水量之和
	麻山矿	6	357	45	50	
	穆棱矿	120	635	399	705	五井水量之和
	城子河矿	165	646	415	540	
	小恒山矿	140	360	114	180	
	二道河子矿	105	466	190	450	
	正阳矿	65	318	149.9	185.1	
	大通沟矿	24	517	120	150	
	张新矿	30	226	350	953.4	
	东海矿	75	336	80	130	
	平岗矿	45	363	161	179	
	杏花矿	90	525	69.3	320	
东宁	东宁矿			15	90	

续表

矿区	矿井	生产能力（万 t/a）	采掘垂深（m）	年平均涌水量（m^3/h）	最大涌水量（m^3/h）	备注
蛟河	蛟河矿	96	480	1200	1500	五井水量之和
营城	营城矿	81	618	142	370	五井水量之和
辽源矿区	太信矿	30	570	22.1		
	西安矿	120	596	80	120	
	平岗矿	9	214	10.6	16	
临江	大湖矿	45	304	20	50	
铁法矿区	大明一矿	90	191	211.7	297.7	
	大明二矿	90	260	39.4	47.5	
	晓明矿	60	355	5.2	13.8	
	大隆矿	90	504	34.6	61.7	
	小南矿	90	451	16	40	
	小青矿	120	517	44.9	120	
	大兴矿	300	679	63.8	150	
	三台子一井	150	500	18.74		在建井
八道壕矿区	前进井			107	122.7	
	一　井			18	22.5	
	五　井			14	18.3	
阜新矿区	高德矿	65	408	263.5	287.6	
	平安矿	60	526	185	224	
	五龙矿	160	556	421.4	546.3	
	东梁矿	87	497	329.6	402.5	
	艾友矿	42	266	360	550	
	清河门矿	111	634	1006	1380	四井水量之和
	海州露天	400	373	625	1026	
	王家营子立井	120	905	50	74.5	
扎赉诺尔矿区	西山矿	69	274	600	800	
	灵泉矿	90	205	131.6	175	
	灵泉露天	180	244	270	426	
大雁矿区	一　矿	90	216	482	750	
	二　矿	90	266	143	181.6	
伊敏矿区	一露天	500	38	423.14		试验区
	元宝山矿	115	280		1574	三井水量之和
	元宝山露天			30	14346	
	五家矿	40	151		442	三井水量之和
	古山矿	90	163	32	622	三井水量之和
	西露天矿	150	303	262	573	
	红庙矿	60	280	7	305	
	风水沟一井	90	150		244	

在西藏自治区也有白垩纪含煤地层分布（图 1－57）。

早白垩世含煤地层各地名称不一，在怒江以西的昌西、八宿、洛隆、边坝至嘉黎一带称多尼组。以粉砂岩、泥岩为主，厚度 1663～5563m。含可采或局部可采煤层 10 层，单层厚度 0.15～2.75m 。在林周、堆龙德庆、墨竹工卡一带称拉萨群。以砂岩、粉砂岩为主，厚度 2503～2992m，含煤 10 层，单层厚度 0.3～2.0m。在改则川坝、洞卡、玛米一带称川坝组，以粉砂岩、泥灰岩为主，厚度 400m 。含煤 2 层，单层厚度 0.3～1.2m。

晚白垩世含煤地层称秋乌组。分布于日喀则地区雅鲁藏布江两岸。东起仁布县，西经吉松、秋乌至桑桑、断续出露 160 余公里。秋乌组不整于岗底斯花岗岩之上，岩性自下而上为底砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、流纹集块岩和凝灰质砂岩，总厚度 480～1000m。含煤 5～7 层，单层厚度 0.2～2.0m 。为高灰高硫肥煤，煤层结构简单，不稳定至较稳定。

西藏地区的白垩纪煤田的水文地质条件，目前还研究得很不够。根据含煤地层的岩性来看，应以含裂隙水为主，其水文地质条件应属简单或较简单。

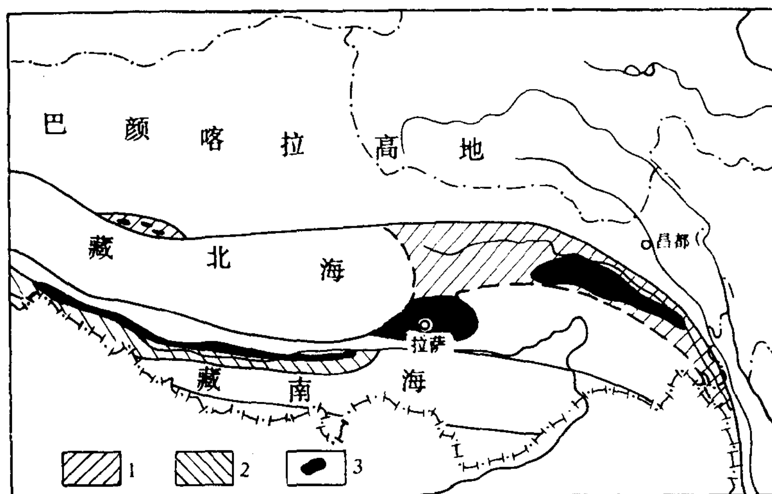


图1－57　西藏区白垩纪煤田分布及古地理略图

第三节　　新生代煤田水文地质概述

我国新生代早第三纪及晚第三纪均有重要的含煤地层堆积，第四纪泥炭分布也比较广泛。但后者研究程度很差，本书中暂不论及。

第三纪是我国主要聚煤期之一。从始新世、渐新世、中新世至上新世，均有煤层堆积。始新世至渐新世煤田主要分布于东北及华北北部地区，尤以郯庐断裂以东含煤性较好。中新世至上新世煤田则主要分布于东南沿海至云南、西藏一带，尤以云南为最好。因此，我国的第三纪煤田分布自然形成为东北一华北及西南一华南两大不同时、空的聚煤区。

我国第三纪煤田的这种从老至新、由东北向南迁移的时、空分布特征，是由第三纪时

我国潮湿气候带的分布和变迁所决定的。在早第三纪时，我国的潮湿气候带主要分布于大兴安岭一吕梁山以东、北纬 34°以北地区，其次为台北一昆明一拉萨一线附近及其以南地区（即古南岭至藏北高地以南地区）。至晚第三纪，则潮湿气候带迁移到杭州一成都至可可西里一巴颜喀拉山地以南地区，故东北一华北聚煤区以早第三纪煤田为主，西南一华南聚区以晚第三纪煤田为主。

至于第三纪煤田的具体分布，则与晚期燕山运动及喜马拉雅运动所产生的断陷带及坳陷带密切相关。早第三纪含煤地层沉积于燕山晚期运动所形成的构造盆地之中；而晚第三纪含煤地层则是沉积于早第三纪末的喜马拉雅运动所形成的断陷盆地之中。二者在沉积上不连续，在空间分布上也不一致。

一、早第三纪煤田

白垩纪末，我国东部地区在早期燕山运动所形成的北北东向隆起与坳陷的基础上，又进一步产生了一系列的北北东向断裂及断陷带。东北一华北聚煤区的早第三纪含煤地层主要沉积于这些北北东向断陷带中，其次是沉积于松辽坳陷及华北坳陷的边缘部分。大、小含煤盆地达 40 余个。其中主要的有抚顺、梅河、沈北、永乐、依兰、舒兰、珲春、黄县等煤田。其中抚顺、依兰为长焰煤，其他均为褐煤。抚顺煤田含煤情况最好，含煤三层，单层最大厚度可达 97m。著名的抚顺露天煤矿即主采此层。其次为沈北煤田，含煤二层，单层最大厚度 18.5m。黄县煤田含煤 4 层，单层最大厚度 9.88m。抚顺、依兰、沈北、黄县煤田还含有油页岩层（图 1-58）。

在西南一华南聚煤区的南部亦有早第三纪含煤地层分布，其中主要的有茂名、南宁、百色等煤田。其含煤性较东北区为差。

我国的早第三纪含煤地层以陆相沉积为主，华南沿海地区虽有浅海相、泻湖相沉积，但仍为碎屑岩。不含岩溶水。其上覆地层及下伏地层亦无岩溶水的威胁。

早第三纪煤系堆积后，其沉降深度和上覆岩层厚度一般均不大，煤系岩层所承受的温度、压力均较低；从成煤至今所经历的时间较短，所经历的构造运动也较少。故煤系岩石的固结程度与石化程度均较低，组成岩石的颗粒之间的原生孔隙仍基本保存，砂质岩石呈松散或半松散状态，泥质岩还具有较大的塑性，裂隙一般不甚发育。煤系岩层中以含孔隙水为主，裂隙水只有局部意义。岩石的粒度组成、分选性及胶结程度对其含水性及透水性起主导作用（图 1-59、图 1-60、图 1-61）。断层一般只对两盘的含水层、隔水层起着错位或对接作用，断层裂隙带及其导水作用一般不很显著。但东北的抚顺、依兰煤田，煤系岩石的固结程度与石化程度稍高，可呈半坚硬状态，裂隙亦比较发育，裂隙水也具有比较重要的地位，尤以风化带及断层带较为显著。但与古生代及中生代煤田相比，其裂隙发育程度及其导水作用仍有逊色。

现将东北地区早第三纪煤田矿井涌水量资料列于表 1-7。

开采早第三纪煤田时，往往在工程地质条件上遇到很大困难。一是流沙溃入井巷，二是巷道严重变形，三是露天边坡不稳。

当未固结的饱水粉砂层含有一定数量的亲水矿物（如蒙脱石、伊利石、水云母等）时，这种粉砂层便称为流沙层流沙的持水度很大而给水度很小，水、砂不易分离。一经扰动或振动，便迅速液化，呈流体状态流动，其休止角近似于零。吉林省的舒兰煤田的煤

图1-58 中国北方早第三纪主要煤田综合柱状图

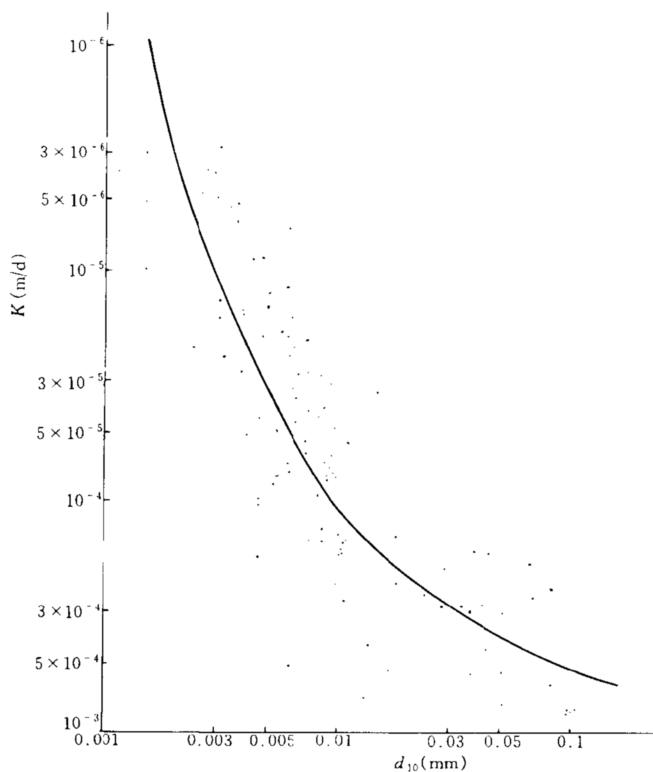


图 1-59　舒兰煤田岩石渗透系数与 d_{10}的关系

（据顾谦隆）

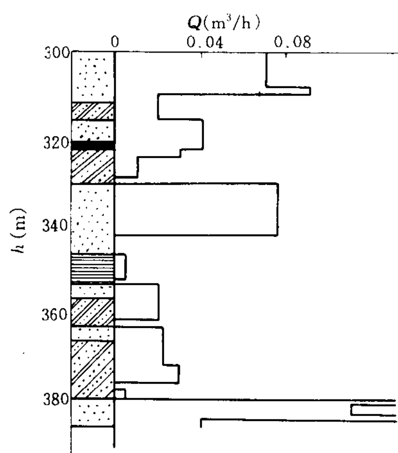


图 1-60　舒兰煤田棒槌沟区 48 号孔冲洗液消耗柱状图

（据顾谦隆）

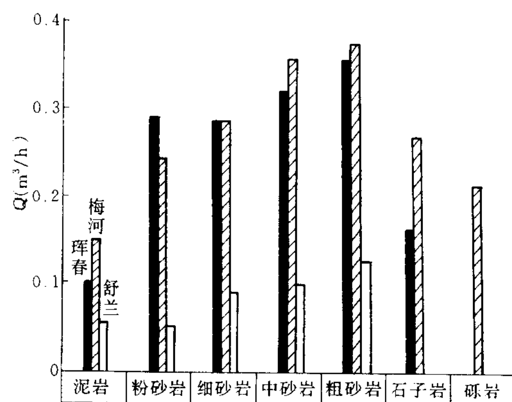


图 1-61　东北区早第三纪煤田钻孔冲洗液消耗量与岩性的关系

层顶、底板存在多层较厚的流沙层，曾给煤田地质勘探、煤矿建设和生产造成不少困难。当巷道揭露流沙层或揭露通过流沙层的未封闭钻孔时，或当采区或巷道顶板冒落触及流沙层时，或煤层底板与下伏流沙层之间的隔水层厚度和强度不足以抵抗下伏流沙层的压力，使采区或巷道底板发生底鼓和破裂时，流沙就会大量溃入井巷，轻则吞没部分巷道及片盘，重则毁灭整个矿井；还曾造成井下工人死亡；而且清除恢复井巷的工作异常困难。大规模的流沙冲溃，还可导致地表沉陷，危及地面建筑安全。

表1-7　东北区早第三纪煤田矿井涌水量统计表
（据1984年资料）

矿区	矿　井	生产能力（万t/a）	采掘垂深（m）	年平均涌水量（m^3/h）	最大涌水量（m^3/h）	备　注
舒兰矿区	吉舒矿	90	275	210	654	
	丰广矿	78	280	160	250	
	东富矿	45	336	128	193	
	舒兰于矿	30	410	85	120	
珲春矿区	三道岭矿	15	364	90	120	
	英安矿	60	444	184	260	
抚顺矿区	西露天矿	360	300	2554	5086	1954.8.26洪水溃入井下，淹没330水平，死5人。
	老虎台矿	300	683	720	1620	
	龙凤矿	195	735	960	1140	
	胜利矿	180	756	1259	5334	
梅河	梅河矿	160	221	660	660	六井水量之和

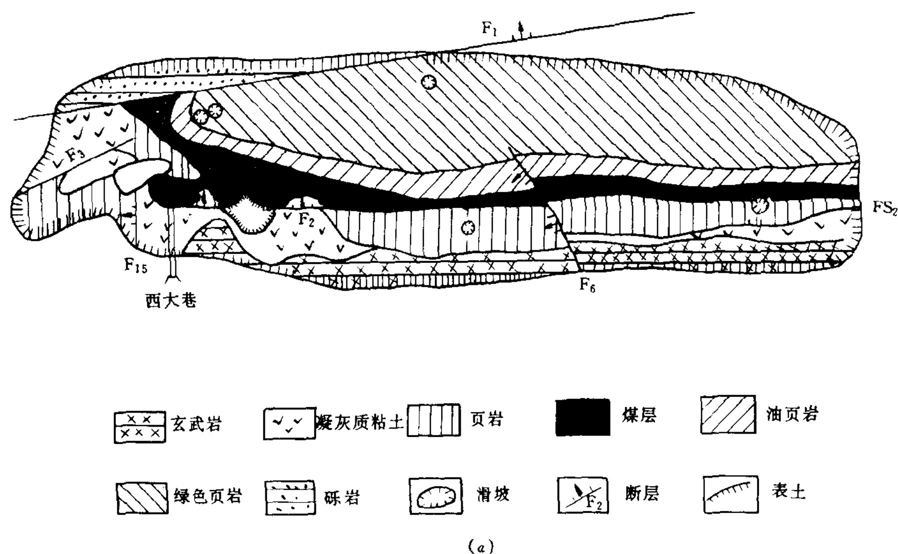
开采这类煤田时，必须采用特殊的方法提前很长的时间进行预先疏干，使流沙失去其流动性，方可安全开采。舒兰煤矿在与流沙层作斗争中已积累了比较丰富的经验。

至于一般的含水砂层（即所谓“假流沙”），虽也能溃入并充填部分巷道，但其流动与危害性要比真流沙小得多。且水、砂易于分离，疏干和治理也比较容易，只是水量较大而已。

早第三纪煤系中的粘土质岩层，具有较大的塑性，一经巷道揭露，便失其原来的静力平衡，向巷道缓慢移动，使巷道产生底鼓、顶垂、帮凸、断面缩小、支架折断、铁轨上拱和弯曲等现象，使井巷维护十分困难。辽宁省的沈北煤田、吉林省的梅河煤田、珲春煤田、山东省的黄县煤田、广东省的茂名煤田、广西省的南宁、百色煤田，在矿井生产中都深以为患。

当用露天方法开采第三纪煤田时，则边坡稳定性问题要比古生代及中生代煤田复杂得多。由于岩性松软，其内摩擦角和凝聚力一般都很小，故边坡不易稳定。还由于粘土岩持水度大，具有塑性，易于膨胀、崩解及变形，承载力很低，在采矿机械及车辆作用下易于下陷或反浆；砂质岩层松散含水，粒度愈细时愈不易疏干，愈易流动。故用露天方法开采第三纪煤田时，须用较小的边坡角和较严的疏干措施。尤其当煤层底板存在蒙脱土、凝灰质粘土或含亲水矿物较多的粘土层、流沙层时，则问题更为复杂。抚顺露天矿煤层底板下

面的凝灰岩（或凝灰质粘土）（图 1－62），曾使露天边坡多次发生大规模滑动，造成重大损失。虽经过大规模的水文地质及工程地质工作，采取过各种疏干和治理措施，但至今犹未能彻底消除边坡滑动的隐患。



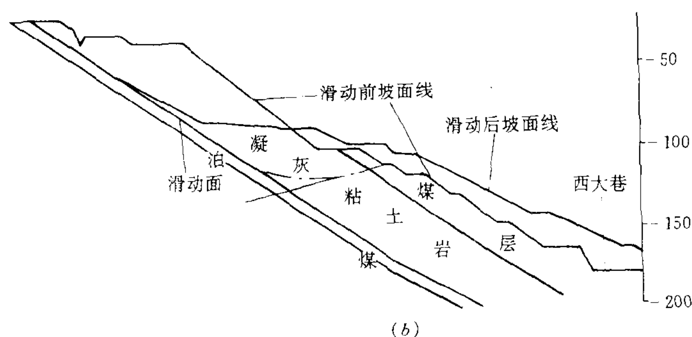


图 1－62　抚顺西露天矿平面及剖面地质图

二、晚第三纪煤田

晚第三纪煤田主要分布于杭州一成都一唐古拉山以南地区。东起台湾，西至西藏的巴喀，北至唐古拉山南麓的丁青、类乌齐和川西的白玉昌台，南至海南省的长坡，晚第三纪含煤盆地大小数百个。大者近千平方公里，小者不足一平方公里。其中以云南省最为发育，含煤最富（图 1－63)。为我国晚第三纪主要聚煤区。晚第三纪煤的变质程度一般很低，除了滇西的剑川、西藏的南木林及台湾等少数地区有低变质的烟煤外，其他绝大多数均为褐煤。

中新世含煤地层在云南省比较发育，含煤性较好。如开远的小龙潭盆地、南华吕合盆地、寻甸先锋盆地、宜良凤鸣村盆地、弥勒盆地等均有巨厚煤层的形成。小龙潭仅可采煤

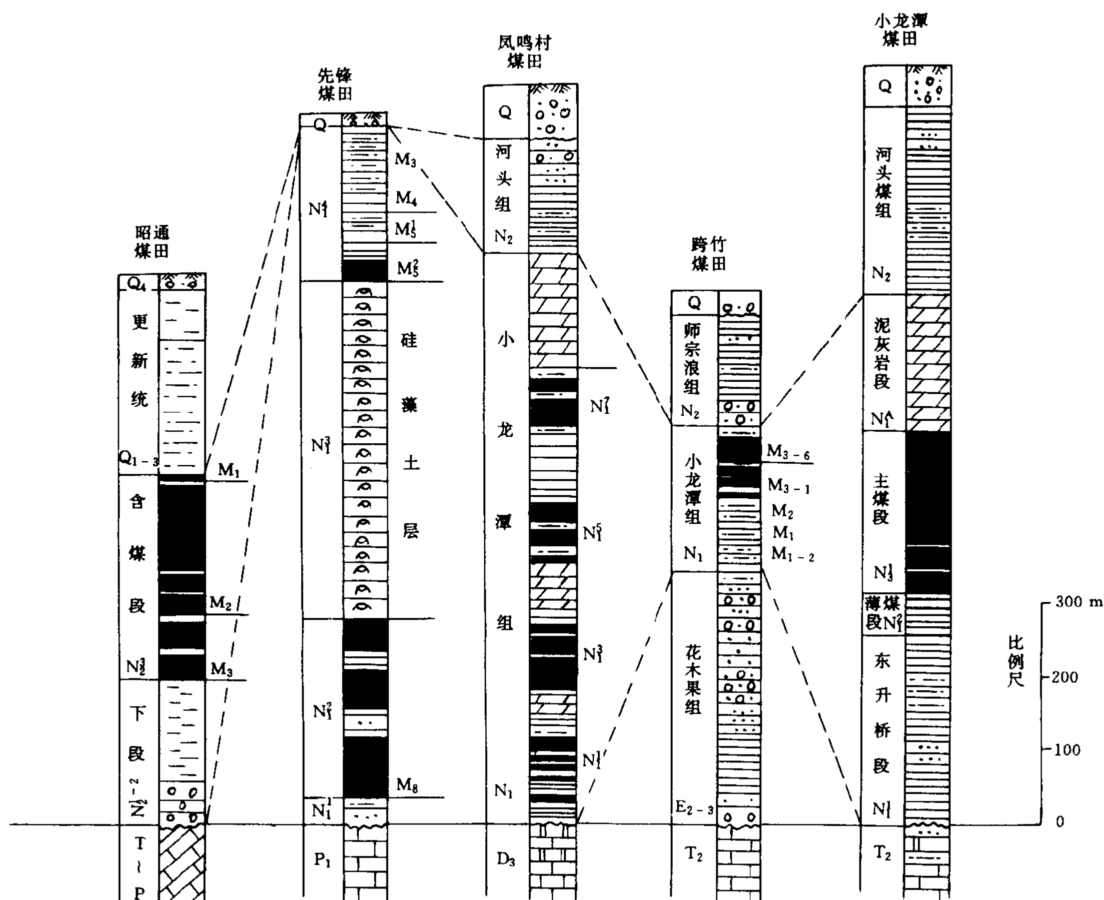


图1-63　滇东晚第三纪主要煤田沉积柱状图

层一层，但其最大厚度可达 222.96m；先锋含可采煤层 6 层，单层最大厚度 174.59m。在台湾省，中新世纪也是主要聚煤期，但煤层厚度较薄。

上新世含煤地层在西南地区分布较广，以滇东、滇东北及川西地区的含煤性为最好。如滇东北的昭通盆地、川西的土卜源盆地、滇东的曲静盆地、滇中的罗茨盆地等，均含有厚煤或巨厚煤层。其中昭通盆地含可采煤层 3层，可采总厚最大 193.77m，单层最大厚度 125.24m。

黑龙江省东北部的三江平原中，也有晚第三纪中新世至渐新世褐煤分布。其中七台河南区含煤面积千余平方公里，含煤 12 层，可采 5 层，可采总厚 1.9～15.5m。煤层结构复杂，厚度变化大。

晚第三纪含煤盆地的分布，与构造的关系非常密切。在川西、滇东地区，晚第三纪含煤盆地群沿着一系列的南北向断陷带展布。滇西及西藏地区，晚第三纪含煤盆地群沿着北西向反 S形扭动构造带及其配套断陷带分布。滇东、桂南及其以东，晚第三纪含煤盆地的分布，则以沿北北东向断陷带为主，兼受东西向及北西向构造的控制。

晚第三纪含煤地层的沉积厚度与沉陷深度一般均不大。除了台湾省的晚第三纪的沉积厚度可达 7000m 外，其他地层一般只有数百米。其上除了有薄的第四系覆盖外，别无其

他覆盖层。含煤地层所受的温度、压力均很低。兼之，从成煤至今所经历的时间与构造运动，比早第三纪含煤地层更短和更少。因而晚第三纪煤系岩层的固结程度、胶结程度与石化程度都更差。砂质岩层一般呈松散状态或半胶结状态；泥质岩层则一般呈塑性状态。甚至与第四系砂层及粘土层相差无几。但台湾、剑川及南木林等少数煤田的煤系岩层的石化程度稍高，可达半坚硬状态。

除了台湾省的晚第三纪含煤地层中含有凸镜状石灰岩体外，其他地区的晚第三纪含煤地层均为陆相碎屑沉积或滨海相碎屑沉积（华南沿海地区），因而煤层本身没有岩溶水间题。但昭通、先锋、凤鸣村及小龙潭煤田均有部分地段煤系直接沉积于下伏灰岩侵蚀面之上，且可采煤层与下伏岩溶含水层之间又无可靠的隔水层，因而存在底板岩溶水问题。跨竹煤田的东部及东南部则由于断层错动使煤系及煤层与岩溶化的个旧灰岩直接接触，也部分存在岩溶水问题。

晚第三纪煤系岩层的含水性与透水性几乎完全取决于组成煤系岩层的粒度组成、分选性及其胶结程度，孔隙水占绝对优势，裂隙一般不发育。但台湾、剑川、南木林等煤田中裂隙水仍有一定的地位。

许多晚第三纪煤田都含有巨厚煤层，而且埋藏浅，剥采比小，很适合于露天开采，还由于岩性非常松软，很适于采用高效的轮斗挖掘机先进工艺，这是非常有利的一面；但另一方面，由于岩性过于松软，承载力很低，在雨季经常有陷铲、陷车的麻烦。露天边坡也不易稳定，尤其当煤层底板含有伊利石、蒙脱石、水云母等亲水矿物时。例如小龙潭露天矿煤层底板为含有蒙脱石的东升桥粘土层（图 1－64），曾使该矿江南的布沼采场，多次发生顺层边坡滑动，破坏绞车道和绞车房，造成很大的损失和麻烦。虽经大量削减边坡角度（已至 15°），仍难以保证边坡完全稳定。

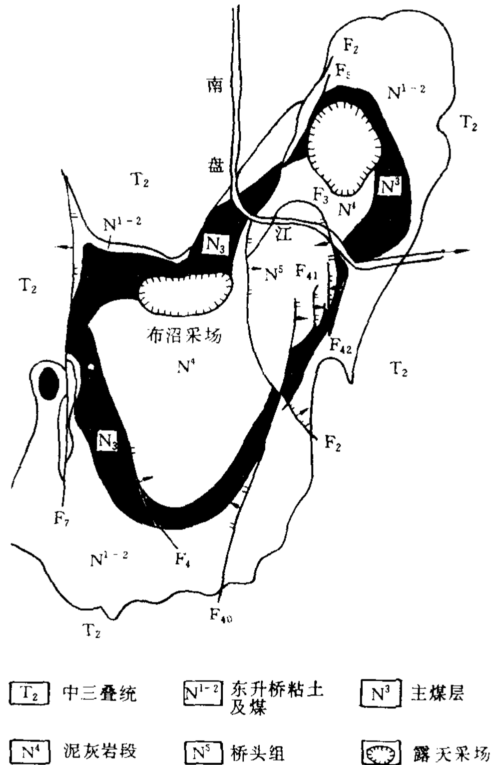


图 1－64　小龙潭矿平面地质图

第四节　中国煤田水文地质基本特征及分区

一、中国煤田水文地质基本特征

总观中国各时代、各煤田的水文地质条件，有以下几个基本特征：

（一）中国煤田水文地质条件多种多样，研究内容非常丰富

中国领土辽阔，成煤时代多，煤田分布范围广，各煤田成煤时的古地理条件、沉积环

境及所处的大地构造背景，成煤后的地质历史、煤田的构造形态、煤层的变质程度和围岩的成岩程度及所处的自然地理条件各有不同，因而煤田的水文地质条件亦表现为多种多样，各具不同的特点。

从对煤矿充水的主要含水层的性质来看，有以岩溶水为主的煤田，有以裂隙水为主的煤田，有以孔隙水为主的煤田，有在巨厚孔隙含水层覆盖下的岩溶充水或裂隙充水的煤田，有在大型地表水体（河流、湖泊、浅海）覆盖之下的煤田，还有煤层本身就是主要含水层的煤田，以及广泛分布有特殊的“烧变岩”含水层的煤田。

从对煤矿充水的含水构造来看，有位于面积几千平方公里的大型自然盆地中的煤田（如华北的古生代煤田），有位于中、小型自流盆地或自流斜地中的煤田（如华南的一些古生代煤田），有位于封闭断块或地垒、地堑中的煤田（如东北、华南的一些中、小型煤田），还有位于含水推覆构造至多层次推覆构造之下的煤田（如湖南碴东煤田、吉林的杉松岗煤田等）。

从所处的自然地理条件来看，有处于西北干旱高原地区的煤田，有处于东南沿海降水充沛地区的煤田，有处于雨量中等的中部地区的煤田，还有处于岛状多年冻土地区的煤田。既有处于高原、山地及当地侵蚀基准面以上的煤田，又有位于低洼盆地中的煤田，既有基岩裸露的煤田，又有隐伏很深的煤田。

从矿井涌水量来看，大小极为悬殊。有矿井涌水量高达每小时几千立方米甚至几万立方米，每采一吨煤的排水量高达 $100m^3$ 左右的煤田，也有矿井基本上无水或水量很小的煤田。

从矿井充水的方式和特征来看，有以底板进水为主的煤田，有以顶板进水为主的煤田，有以断层或陷落柱出水为主的煤田，有以老窑突水为主的煤田，还有以地下热水为主的煤田。

从与水文地质有关的工程地质问题来看，有能发生流沙溃入井巷的煤田，有能发生井巷严重变形、不易维护的煤田，有能发生底鼓突水甚至淹没矿井的煤田，有易产生露天边坡滑落的煤田，还有能使矿区及其周围地区发生大范围岩溶塌陷，严重破坏村庄、农田及其他地面建筑的煤田。

总之，我国的煤田水文地质条件是多种多样的。各种类型的煤田在勘探与开采中都有其应着重解决的水文地质问题和不同的方法，内容非常丰富。

（二）岩溶水尤其是底板岩溶水是威胁我国煤矿安全的最突出的水文地质问题

中国石灰岩的分布非常广泛，面积达 200 万 km^2，约占我国国土总面积的 1/5。这些石灰岩与煤矿的关系非常密切。有些构成煤系的沉积基底，有些构成煤系的盖层，有些直接位于煤层底板之下或顶板之上，有些则夹于各煤层之间（如太原组、吴家坪组及其他浅海相、海湾泻湖相、海陆交替相含煤地层中所夹的石灰岩）；还有的煤田由于多次构造推覆的结果，使煤系与灰岩多次叠置呈“互层”状（如吉林的杉松岗煤田），或由于断层错动使煤层与灰岩直接对接。这些灰岩大都岩溶化强烈，含水丰富，煤层开采时常成为煤矿充水的主要水源。不仅威胁着我国大部分古生代煤田的开采，而且还威胁着一部分中生代及新生代煤田的开采。

以岩溶水为主的煤田，在中国分布非常广泛。除东北及西北少数省、区外，几乎遍及全国。其中又以底板岩溶水为主的煤田分布最广。包括华北区及华南区的大多数古生代煤

田及少数中生代新生代煤田。尤以焦作、鹤壁、峰峰、邢台、井隆、开滦、霍县、韩城、澄合、淄博、肥城、荥巩、煤炭坝、恩口、斗笠山、云湖桥、辰溪、连阳、合山、扶绥、贵阳等煤田的底板水问题最为严重，最为复杂。

在华北区，煤层底板下面的高压岩溶含水层主要为中奥陶统马家沟灰岩。岩溶发育强烈，含水构造规模巨大，水量异常丰富。煤层开采时，高压岩溶水往往突破采区或巷道的底板，或借助于断层、岩溶陷落柱等导水通道大量涌入矿井，使许多矿井屡遭淹没。其突水量可高达数百至 $2053m^3/min$ （开滦范各庄矿）。其水量之大，实为世界所罕见。不但对现有各煤矿的安全生产是个严重威胁，而且还使太原组中大量煤炭资源难以开发。

华南区煤层底板下伏的岩溶含水层则主要为下二叠统茅口灰岩。其矿井涌水量虽一般较华北区为小，但也常达每分钟数十立方米之多，也常使矿井淹没。当矿井大量排水时，还常使矿区及其周围大范围内产生地表岩溶塌陷坑群，使大片村庄、农田及其他地面设施遭受严重破坏，甚至造成人、畜伤亡。并因此而使那些附近有重要地面设施的矿区，虽有可观的煤炭资源，迄今未敢开采（如辰溪煤田、云湖桥煤田）。雨季时，地面水由这些岩溶塌陷坑大量灌入矿井，又往往导致矿井淹没（如恩口煤矿 1990 年雨季被淹）。这种由于煤矿排水而引起的特殊的环境工程地质现象，在我国华南各煤矿区非常普遍，亦堪称世界所罕见。

无论华北区或华南区，当煤矿大量疏排岩溶水时，都能导致大范围的地下水位下降，地表及浅部水源枯竭，井、泉干涸，给矿区及其周围的水资源及自然环境造成破坏，给人民生活与生产带来严重影响。这种矛盾，反过来又在一定程度上约制着或即将约制着煤矿的发展。这也是一个非常复杂而亟待解决的问题。

（三）随着成煤时代的不同，煤田水文地质特征亦有显著的差异

我国的古生代煤田以岩溶水为主，裂隙水、孔隙水次之；中生代煤田以裂隙水为主，岩溶水、孔隙水次之；新生代煤田以孔隙水为主，裂隙水、岩溶水次之。这一随着成煤时代的不同而不同的水文地质特征，是由我国特定的地质历史条件所决定的。

早古生代时，我国除了松辽、胶辽、大别、江南、闽浙、阿拉善、松潘、康滇、准噶尔、柴达木、羌塘等古陆呈岛状分布外，绝大部分地区均长期沉没于海水之中，广泛沉积了寒武纪、奥陶纪碳酸岩系。加里东运动使我国大部分地区先后上升为陆。华北地区经过了从晚奥陶世至早石炭世的长期剥蚀和夷平之后，广泛堆积了海陆交替相的石炭二叠纪含煤地层。使高度岩溶化的寒武系、奥陶系、石灰岩尤其是中奥陶统石灰岩普遍成为煤系的直接基底。其中的高压岩溶水严重地威胁着其上覆煤层的开采。而且太原组中还含有多层石灰岩，均含有岩溶裂隙水，并通过断层及岩溶陷落柱与中奥陶统石灰岩发生水力联系。因而使华北区的晚古生代煤田尤其是太原组煤层普遍受到岩溶水的威胁。华南地区则从泥盆纪至早、中三叠世几经海浸与海退，使晚古生代各纪含煤地层（测水组、梁山组及龙潭组）与碳酸岩系交替沉积，使这些含煤地层被夹在下伏及上覆碳酸岩系之间。浅海相的含煤地层吴家坪组中还含有多层石灰岩。这些碳酸岩系及含煤地层中的石灰岩都含有较丰富的岩溶水，对煤层开采有较大的威胁。尤以下二叠统茅口灰岩对上二叠统龙潭组煤层开采的威胁最为严重而普遍。

古生代煤田除了以岩溶水为主外，含煤地层在以后的地质历史中还普遍发育有各种裂隙（成岩裂隙、构造裂隙及风化裂隙等），含有裂隙水。喜马拉雅运动使黄淮平原下降并

沉积了巨厚的新生界松散地层，在一些山间河谷地段还堆积了厚薄不等的砂砾层，使这些地区的下伏古生代煤层的浅部受到一定程度的孔隙水威胁。

印支运动使我国除西藏以外的绝大部分地区均上升为陆，然后产生了一系列的坳陷及断陷盆地，堆积了以陆相为主或纯陆相的晚三叠世及早、中侏罗世含煤地层。除了西藏土门格拉群（T_3）含有薄层石灰岩、桂东的西湾煤田大岭组（J_{1d}）中含有厚约 30m 的石灰岩，存在岩溶裂隙水及岩溶水，以及干中、粤北、川东的部分晚三叠世煤田、河北蔚县煤田（J_{1-2}）、柳河煤田(J_{1-2})、吉林杉松岗煤田（J_{1-2}）局部受到古生代或早、中三叠世溶水威胁外，其他绝大部分煤田都不含岩溶水，而是以含裂隙水为主。开采那些山间河谷地段的煤层浅部时，还会遇到孔隙水问题。神榆府煤田中还存在“烧变岩”中的孔隙一裂隙水问题。

中、晚侏罗世之间的燕山运动，使我国东部产生了一系列的北东向断陷盆地群，在其中堆积了晚侏罗一早白垩世地层。但当时北纬 40° 以南气候干燥，不适于成煤；北纬 40° 以北则气候湿润，植物茂盛，故在我国的东北及内蒙古东部地区形成了重要的晚侏罗一早白垩世含煤盆地群。这些盆地中的含煤地层除了三江一穆棱河盆地东部的龙爪沟群中含有海相泥岩外，落地均为陆相沉积，其下伏及上覆地层中也不含石灰岩，以含裂隙水为主。但大兴安岭以西的内蒙古东部地区燕山晚期运动较弱，盆地下陷较浅，盖层较薄，含煤地层所受的温度和压力均较低，故其石化程度较差，岩性比较松软，孔隙水仍占有一定的地位。此外，位于松辽平原、三江平原以及一些山间河谷地段的煤层，也存在上覆新生界松散砂层中的孔隙水向煤矿充水之处。

西藏地区的白垩纪含煤地层均为海陆交替相，多为碎屑沉积，应以含裂隙水为主。但早白垩世的拉萨群系沉积于侏罗纪石灰岩之上，含煤地层中还夹有少量石灰岩，可能会有岩溶水问题。

新生代含煤地层系沉积于燕山末期及喜马拉雅运动所产生的断陷盆地之中，多为陆相沉积。华南沿海地区虽有浅海相及海湾泻湖相沉积，但均为碎屑岩。台湾的第三纪含煤地层中虽夹有凸镜状石灰岩，也不会有大的岩溶水问题。新生代煤田的主要水文地质特征是：含煤地层的成岩程度很差，砂质岩层呈松散或半胶结状态，粘土质岩层易塑性变形，以含孔隙水为主，裂隙水次之。少数煤田的沉积基底为古生代石灰岩（如云南的小龙潭、先锋、昭通等煤田），局部受到岩溶水的威胁。

（四）不同的大地构造背景形成不同的煤田水文地质特征

从煤田水文地质的观点并参考王鸿祯教授主编的《中国古地理图集》中对中国大地构造单元的划分，我们认为对中国煤田水文地质特征起主要控制作用中国大地构造基本格局，是以天山一阴山、昆仑一秦岭、班公错一怒江三个巨形构造带，将中国划分为：Ⅰ松辽一准噶尔构造域；Ⅱ．华北一塔里木构造域；Ⅲ．华南一羌塘构造域；Ⅳ．西藏构造域。这四大构造域具有各自的地质发展历史，各自的成煤时代，各自的构造特征，以至各自的煤田水文地质特征。

Ⅰ．松辽一准噶尔构造域

松辽一准噶尔构造域在古生代时，其北部属西伯利亚大陆的南缘，南部为广阔的海槽，不利于成煤。在阿尔泰古陆及完达古陆的南缘虽有晚古生代的煤层赋存，但均无重要的经济价值。海西末期，海槽闭合，西伯利亚大陆与中国北方大陆合并。印支运动使本构

造域的东部剧烈上升，经受强烈的侵蚀剥蚀，仍不利于成煤。西部则比较平静，利于成煤，形成了巨型的准噶尔早侏罗世陆相煤田。至晚侏罗世，东部地势被基本夷平，在燕山运动所产生的一系列北东向断陷盆地中广泛堆积了晚侏罗一早白垩世含煤地层，形成了东北区及内蒙东部数十个重要煤田。并在大兴安岭以东于燕山末期运动所产生的北北东向断陷带中形成了抚顺、梅河、沈北、舒芝、依兰、珲春等老第三纪煤田。本构造域的绝大部分煤田均为陆相，三江一穆棱河盆地的东部虽有海陆交替相沉积，但不含石灰岩。所有含煤地层的上覆及下伏地层中也都不含石灰岩，故完全没有岩溶水问题。中生代煤田以含裂隙水为主，孔隙水次之；新生代煤田以含孔隙水为主，裂隙水次之。

由于太平洋洋壳向中国土陆俯冲的影响，使印支运动及燕山运动均具有东强西弱的特点。大兴安岭以东的中生代断陷盆地较之大兴安岭以西，沉陷深度与沉积厚度均较大，构造也较复杂，含煤地层所受温度、压力均较高。同样是晚侏罗一早白垩世煤层，东部为烟煤，西部为褐煤；东部煤系岩层的石化程度较高，组成岩石的颗粒之间的孔隙多已消失，各种裂隙比较发育，断裂带的导水作用比较明显，以含裂隙水为主；西部则石化程度较低，岩石颗粒间的孔隙部分或大部分保存，除煤层本身裂隙较发育外，煤系岩石的裂隙不很发育，断层的导水作用不明显，孔隙水尚占有很重要的地位。

本构造域的西部自晚侏罗世以后，地壳虽仍较稳定，但气候却变得比较干燥，不利于成煤。

Ⅱ．华北一塔里木构造域

本构造域在元古代时即已固结成陆台。早古生代时，塔里木古陆与华北古陆之间被祁连海槽所分隔，并呈岛状浸没于海水之中，广泛沉积了寒武纪、奥陶纪碳酸岩系。加里东运动使本构造域全部上升为陆。除了中、晚泥盆世祁连地区有陆相湖盆沉积外，其他绝大部分地区均经受漫长的剥蚀。使本区广泛分布的寒武系、奥陶系石灰岩普遍强烈岩溶化。直至早石炭世，祁连地区开始海浸。中石炭世华北区也自东至西开始海浸，随之又缓慢海退，在华北区广泛沉积了海陆交互相的石炭二叠纪含煤地层。使太原组普遍直接覆盖于强烈岩溶化的中奥陶统石灰岩含水层之上，并局部超覆于寒武系石灰岩含水层之上。太原组中也含有多层薄至中厚层石灰岩，均不同程度地含有岩溶裂隙水。由于华北大陆早在元古代时即已固结成地台，刚性与整体性均较强，古生代时其构造运动表现为明显的整体缓慢升降，沉积盖层分布辽阔、沉积稳定，因而形成本区各含水层与煤层均分布辽阔而稳定的水文地质特征，使太原组煤层开采普遍受到岩溶水的威胁。

中生代以来，由于太平洋洋壳向中国大陆俯冲，使刚性较强的华北大陆尤其太行山以东，产生一系列的以北东向为主的断裂及断块升降运动，整体性遭受破坏。使原来广阔地遍布于整个华北区的硕大的完整的古生代含水层系被切割成一系列的大、中型含水构造。在构造上升块段，石灰岩直接裸露地表或埋藏很浅，地下水补给条件与循环条件变好，岩溶化进一步加剧；在构造下降块段，则岩溶含水层埋藏很深，补给与循环条件变差，岩溶化程度减弱，有些岩溶甚至被高矿化度地下水中的沉淀物所充填而“愈合”。有些断层使富水性很强的中奥陶统灰岩含水层直接与煤层或太原组灰岩含水层对接，勾通了各含水层之间的水力联系，加剧了煤田水文地质条件的复杂性；有些断层将连续延展的中奥陶统岩溶含水层切割成为许多互不连续的封闭或半封闭块段，使煤矿防治水和疏干工程变得有利。各块段的上覆地层及其含水情况也颇不一样：有些块段裸露地表，直接接受降水补

给；有些块段被中生代地层所覆盖，补给条件很差；有些块段则上覆巨厚的新生代疏松含水砂层，给煤矿建井及开采带来一些不利条件。

贺兰山一六盘山以西，则因晚古生代时地壳活动较强，成煤条件较差，且下伏有泥盆纪陆相地层，故不存在岩溶水问题。

印支运动以后，本构造域已全部上升为陆，所有中、新生代含煤地层均为陆相沉积，不含岩溶水。但华北区的北缘有少数山前盆地（如河北的蔚县煤田、柳河煤田、吉林南部的杉松岗煤田），早侏罗世含煤地层直接沉积于寒武、奥陶系岩溶含水层之上，才有岩溶水问题。

Ⅲ．华南一羌塘构造域

扬子古陆与羌塘古陆虽在中、晚元古时即已固结成陆台，但就整个构造域来说，活动性仍较大。早古生代时，长期呈岛群状沉没于大海之中。加里东运动，川滇古陆以东的华南地区全部上升为陆。泥盆纪时又自西南向东北开始海浸。从泥盆纪直至二叠纪，海水几经进退，因而形成了华南区晚古生代各纪含煤地层与碳酸岩系交迭沉积、各含煤地层均被夹在下伏及上覆岩溶含水层之间的水文地质特征。华南地台的固结时间比华北地台为晚，其刚性和整体性均较华北地台为弱，其升降时间、幅度及沉积岩性，各地颇不一致，其运动形式是以北东向隆起与坳陷相间为主，而不像华北区那样整体隆起和整体沉降。因而使华南区晚古生代煤田的水文地质条件呈现既有东西变化，又有南北差异的复杂面貌。印支运动使华南地台尤其雪峰古陆以东开始活化，并强烈上升，伴随着以北东向为主的箱状褶皱和断裂。经过剥蚀、夷平之后，在燕山运动和喜马拉雅运动中又多次发生断裂、断块升降运动及剥蚀、夷平，除了川中、黔西的晚古生代含煤地层及其下伏茅口灰岩、上覆长兴灰岩尚有较大规模的保存外，其他地区只有较小规模的残留。遂成为今日华南区的含水构造规模以中、小型为主的水文地质特征。

至于川滇古陆以西，在印支运动以前，其活动性较强，不利于煤。仅在相对稳定的昌都地块的延伸方向的狭长条带内堆积了晚古生代含煤地层。印支运动后，滇中、藏东有较重要的晚三叠世含煤地层及在一些燕山期断裂带中形成了一系列的第三纪中、小型含煤盆地群。这些含煤地层均以碎屑沉积为主，基本上不存在岩溶水问题，水文地质条件一般比较简单。但昭通、先锋、小龙潭等第三纪煤盆地含煤地层直接沉积于古生代石灰岩之上，局部受到岩溶水的威胁。同时，第三纪含煤地层岩性松软、砂质岩层呈松散或半胶结状态，泥质岩层呈塑性变形，其水文地质及工程地质条件要相对复杂。

Ⅳ．西藏构造域

本构造域是我国固结最晚，活动性最强的构造域。早二叠世以前，长期一片汪洋大海，不利于成煤；晚二叠世又全部上升为陆，经受侵蚀剥蚀，缺乏沉积；早三叠世至晚侏罗世，虽有海有陆，但活动性强，古地形高差大，也不利于成煤；白垩纪、第三纪虽有含煤地层堆积，也因地壳活动强，地形高差大，而含煤性差，仅有局部可采煤层，无重要的经济价值。其水文地质条件一般也比较简单。

从上述可知：我国煤田水文地质特征与所处的大地构造条件非常显著地息息相关。

（五）自然地理因素对煤田水文地质条件的影响非常密切

我国国土辽阔，自然地理条件差异很大，而煤田分布又遍及全国各省、区，故自然地理条件成为影响我国煤田、水文地质特征的重要因素之一。

我国的地势东部低平，西部高耸；降水分布则东南丰沛，西北干旱。位于我国东部地区的煤田一般含水丰富，补给充沛，还往往发生淹井事故，水文地质条件一般比较复杂；位于西北地区的煤田则一般含水微弱，补给贫乏，煤田水文地质条件一般都比较简单。但供水水源却比较困难或非常困难，甚至成为煤炭资源开发及其他工农业发展的主要约束条件或先决条件。是我国亟待研究解决的问题之一。

同样是以岩溶充水为主的晚古生代煤田，华南区降水充沛，地表及浅部岩溶异常发育，以大型溶洞及暗河为主。煤矿排水时，地表常发生大片岩溶塌陷，导致农田、村庄、地面建筑严重破坏，地表水大量溃入矿井等严重后果。华北区则降水较少，地表及浅部岩溶的发育程度一般较华南地区为差，以小型溶洞及溶隙为主。煤矿排水时，一般不会发生地表岩溶塌陷，即使发生也为数很少，后果也一般不很严重。

同样是华北型古生代煤田，在太行山以东的华北平原及山前丘陵地带，煤层多埋藏在地下水位以下，煤层开采时所承受的下伏奥陶系岩溶含水层的水压很高，往往易发生底板突水和淹井；同时还往往由于上覆有巨厚的新生界砂砾含水层，给井筒开凿、维护及浅部煤层开采造成一定困难。在太行山以西的晋、陕高原，除位于河谷地段的霍县煤田及朔县煤田外浅部煤层多赋存于奥陶系灰岩地下水位以上，上无砂砾含水层的覆盖，下无岩溶水的威胁，水文地质条件一般都很简单。只有当煤层开采到深部，底板水压增大到某一程度时，才有可能发生底板突水。

同是以裂隙充水为主的中生代煤田，位于河谷地段的矿井与位于分水岭及斜坡地带的矿井，其水文地质条件大不相同（图 1－65）。前者水量大，补给较充沛，有时还可以发生地表水或泥沙溃入井巷的危险。后者水量微弱，补给差，地形有利于地表水及地下水的排线。煤层开采时，除须注意浅部老井积水外，一般不存在水的威胁。

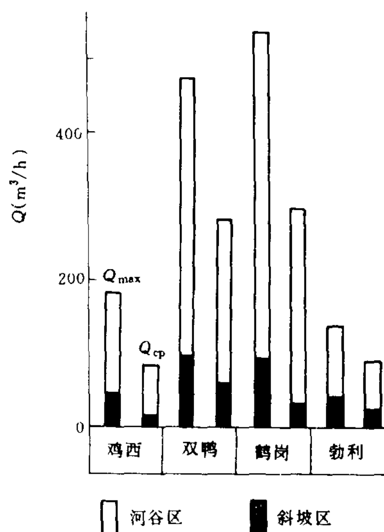


图1－65　河谷区及斜坡区矿井水量差异状况图

同一煤田，同一矿井，雨季开采时与旱季开采时，其矿井涌水量往往大不相同。雨季水量大，旱季水量小，往往相差几倍至十几倍。矿井涌水量动态变化常与降水量动态变化或地表水流动态变化相一致（图 1－66）。开采深度愈浅，上述关系愈显著，变化幅度也愈大。随着开采深度的增加，降水及地表水动态对矿井水的影响逐渐减弱，矿井涌水量的变化幅度也逐渐减小。

二、中国煤田水文地质分区

根据中国的地质、自然地理及水文地质条件，可将中国煤田分为六个具有不同水文地质特征的大区：

Ⅰ. 东北区

本区是指阴山一燕山一沈阳一辉南一和龙一线以北、内蒙狼山以东、我国国境以内的地区。包括内蒙中部及东部黑龙江省全部、吉林省北部地区。

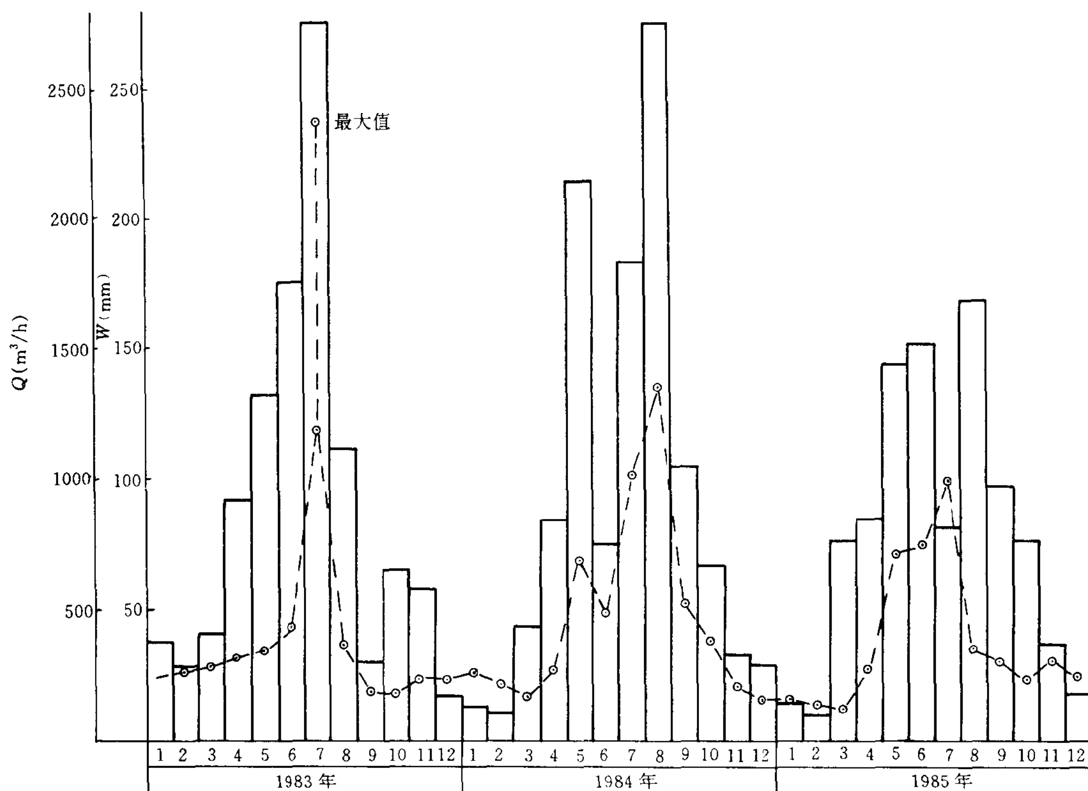


图1－66　松藻二井 1983～1985 年月平 均涌水量与降水量关系曲线图

本区主要成煤时代为晚侏罗一早白垩世，其次为第三纪，含煤地层及其下伏与上覆地层均为碎屑沉积，部分含煤地层直接沉积于前震旦纪花岗片麻岩、海西期花岗岩或燕山期火山岩基底之上。故所有煤田均不存在岩溶水问题。中生代含煤地层以含裂隙水为主，孔隙水次之。新生代含煤地层则以含孔隙水为主，裂隙水次之。水文地质条件一般比较简单，矿井涌水量一般为 $0.5\sim5.0m^3/min$ 之间。但位于三江平原、松辽平原及山间河谷地带的煤田，上覆有含水丰富的第四季砂砾层，对浅部煤层开采威胁较大；第三纪含煤地层中的流沙层、塑性粘土层也对煤层开采带来一定困难。

Ⅱ. 华北区

本区北以阴山一燕山一沈阳一辉南一和龙一线与东北区相接，南以秦岭一大别山一张八岭与华南区分界；东濒黄海；西以贺兰山—六盘山与西北区为邻。

本区的主要聚煤期为石炭二叠纪，次为早、中侏罗世。石炭二叠纪含煤地层普遍沉积于中奥陶统岩溶化灰岩之上，并局部趋覆于寒武系灰岩之上，太原组中也含有多层灰岩。水文地质条件一般比较复杂或很复杂，煤层开采时，高压岩溶水性往往突破采区或巷道底板，大量溃入矿井，水量可达每分钟数十立方米至数百立方米，最大可达 $2053m^3/min$（开滦范各庄煤矿），常使矿井淹没或部分淹没。二叠系不含灰岩，距中奥陶统灰岩又较远，在一般情况下无岩溶水之虞，以含裂隙水为主，矿井涌水量一般为 $1\sim10m^3/min$。但位于黄淮平原中的煤田，上覆有巨厚的新生界松散含水层，给井筒开采及浅部煤层开采造

成一定困难。早、中侏罗世含煤地层均为陆相沉积，水文地质条件一般比较简单，仅个别煤田的直接基底为寒武、奥陶系灰岩，存在底板岩溶突水问题。位于陕北地区的煤田，供水水源比较困难。

Ⅲ. 华南区

本区是指我国秦岭一大别山一张八岭以南、西昌一昆明以东的地区。

本区的主要聚煤时代为晚二叠世，其次为晚三叠世。晚二叠世龙潭组（吴家坪组）广泛沉积于茅口灰岩之上，而且主要可采煤层下距茅口灰岩很近；浅海相的吴家坪组中也夹有多层石灰岩。龙潭组（或吴家坪组）之上，还广泛覆盖着长兴灰岩。这些灰岩都已高度岩溶化。使煤层开既存在底板水的威胁，又存在顶板水的威胁。水文地质条件一般比较复杂。矿井涌水量仅小于华北区，一般可达每分钟几立方米至几十立方米，最大可达 $467m^3/min$ （南桐红岩煤矿）。且随着煤矿开发能导致大片地表岩溶塌陷，产生一系列严重后果。是本区的主要水文地质问题。在黔西、滇东地区龙潭组（完威组）与茅口灰岩之间有厚达数十米至数百米的峨嵋山玄武岩隔水层；在湘南、赣南、皖南、苏南等地，茅口灰岩相变为以硅质岩为主的当冲组。这些地区的煤田水文地质条件才变得比较简单。晚三叠世含煤地层均为碎屑沉积、不含灰岩，主要可采煤层距下伏灰岩一般较远，故其水文地质条件一般比较简单。只有通过断层错动，使煤层与下伏灰岩接触时，才有岩溶水问题。

Ⅳ. 西北区

本区包括贺兰山一六盘山以西、昆仑山以北、我国境内广大地区。

本区主要聚煤期为早、中侏罗世，其次为晚三叠世及晚石炭世。早、中侏罗世含煤地层均为陆相沉积，晚三叠世含煤地层亦主要为陆相沉积，晚石炭世含煤地层中虽有少量薄层灰岩，也不含岩溶水。均以裂隙水为主。本区大部分为干旱高原，年降水量不足 100mm ，只有河西走廊、伊宁等局部地区年降水量可达 300～400mm。地下水非常贫乏，补给条件差，矿化度高。故供水水源问题成为本区煤田开发的主要水文地质问题。

Ⅴ. 西南区

本区是指我国昆仑山以南、西昌一昆明一线以西的地区。

本区的主要聚煤期为晚三叠世及新第三纪。次为晚二叠世及早白垩世。晚三叠世含煤地层除了西藏的土门格拉群中含有少量薄层石灰岩外，均为碎屑沉积，以含裂隙水为主，水文地质条件比较简单。新第三纪含煤地层则因岩性松软，工程地质条件均比较复杂。部分煤田的含煤地层直接沉积于古生代石灰岩之上，局部存在底板岩溶水的威胁。

Ⅵ. 台湾区

台湾省全省面积 $36000km^2$ ，台湾岛以外的岛屿，除钓鱼岛、赤尾屿外，各岛均为新生代火山岛屿。

台湾岛的地层有前第三纪变质杂岩、下第三系、上第三系及第四系等。含煤地层主要为中新世地层，从老至新为木山组、平底组和南庄组，均属海退型的海陆交互相沉积，所含煤层多为薄煤层，厚度均小于 1m，煤种主要为低级烟煤。煤系及上覆与下伏地层均为碎屑岩类，多砂、页岩组成，含水层以砂岩为主，富水性较差，而且煤系主要分布在台湾岛西部山麓丘陵带的中部和北部，地下水的汇聚、补给条件差，水文地质条件比较简单，由于煤炭资源条件不好，煤矿开采规模和强度也小，水文地质条件对煤矿开采的影响不突出。

第二章　控制中国煤田水文地质条件的基本因素

我国煤田水文地质条件极其多样而复杂，既随着成煤时代的不同而不同，又随着分布区域的差异而差异。几乎不同时代的煤田都有其不同的水文地质特点，甚至同一时代煤田的不同地段或不同层位，其水文地质条件亦不尽相同以至大不相同。我国各煤矿开采的实际情况也表明，不仅不同矿区、不同矿井的充水情况各有不同，而且同一矿井的不同水平、不同采区乃至不同部位的充水情况，亦不完全相同甚至完全不同。

但是，不论煤田水文地质条件如何千差万别，却各有其一定的形成条件，都各有其一定的控制因素。由于各种不同的因素以不同的形式和强度彼此交织，相互复合和消长，因而形成和控制着千差万别的水文地质特征。这些控制因素有地质方面的，有自然地理方面的，水文地质方面的，还有人工方面的，现分别论述如下。

第一节　地　质　因　素

一、大地构造及地史

（一）含煤地层的沉积特征

任何一个煤田，含煤地层的含水性、含水特征，含水层在剖面及平面上的变化及其与煤层的相对关系，都是由含煤地层的沉积特征决定的。而含煤地层的沉积特征，又取决于含煤地层沉积时的古地理条件与沉积环境及其在时间与空间上的变迁。显然，这是受煤田所处的大地构造单元的性质、部位及其运动史所控制的。现举例说明如下：

例 1　川滇黔晚二叠世煤田　晚二叠世以来，川滇古陆不断上升，陆地面积扩展。在其两侧，尤其是东侧成为陆源碎屑物的沉积场所，形成了川滇黔三省晚二叠世含煤地层沉积区，自西向东分为陆相、滨海过渡相、海陆交替相三大相区，呈北东一南西方向的带状分布。

(1) 陆相区。位于陆相区内的矿区，包括：滇东来宾、庆云、后所、恩洪、羊场、老厂矿区，川南芙蓉（富安一妙峰以西）、筠连矿区，黔西威宁矿区。含煤地层岩性以碎屑岩为主，主要由细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩、煤及菱铁矿组成，全层无明显含水层。

(2) 过渡相区。位于过渡相区内的矿区有：黔西盘县、水城矿区。含煤地层属滨海沼泽相沉积。岩性以砂岩、砂质泥岩为主，偶夹泥灰岩。在煤组（包括长兴组）中，岩层富水性弱。

(3) 海陆交替相区。位于海陆交替相区内矿区有：四川的华蓥山、天府、南桐、松藻、古叙等矿区，贵州的织纳、六枝、贵阳等矿区。含煤地层属海陆交替沉积。煤系由碎屑岩、灰岩、煤层组成，灰岩、岩溶发育，富水性强。

三大相区含煤地层沉积物特征的差异，使煤田水文地质类型也具有相应的变化，从西向东由以裂隙含水层充水为主、水文地质条件简单的陆相矿床到以裂隙含水层充水为主、水文地质条件简单一中等的过渡相矿床至以岩溶含水层充水为主的水文地质条件中等一复杂的海陆交替相矿床。

例 2　粤北晚二叠世煤田　粤北晚二叠世含煤地层沉积区自西向东分布于连阳、曲仁和兴梅地区。上述地区在晚二叠世时，华夏古陆仍在抬升，在古陆以西，虽然有九连山隆起、增城隆起等把海盆分割成若干封闭和半封闭的盆地，但仍然保持了东高西低的总趋势，华夏古陆为陆源物质的主要供应地，这一地理特征决定了连阳煤田含煤地层以浅海碳酸盐岩相为主，煤系由碎屑岩、灰岩和煤层组成，灰岩岩溶十分发育，富水性强。曲仁煤田含煤地层为浅海一滨海碎屑岩相，煤系由煤、碎屑岩夹灰岩组成，兴梅煤田含煤地层为滨海碎屑岩相，煤系由碎屑岩、煤组成（图 2-1、图 2-2）。含煤地层沉积类型，从西向东由灰岩变为碎屑岩，煤田水文地质类型由直接充水含水层以岩溶含水层为主，水文地质条件复杂类型变为直接充水含水层以裂隙含水层为主，水文地质条件简单类型（表 2-1）。

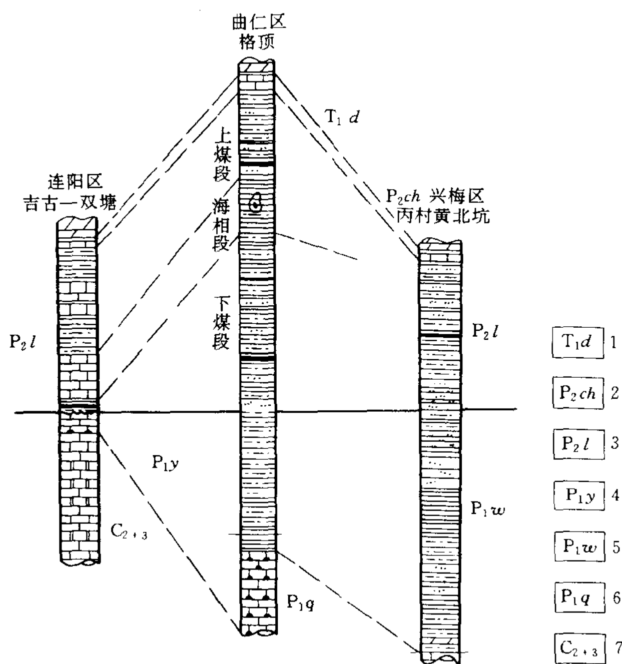


图2-1　广东北部二叠系对比示意图

（据张希腾）

1-大冶群；2-长兴组；3-龙潭组；4-阳新阶；5-文笔山组；6-栖霞组；7-壶天群

例 3　华北晚古生代石炭二叠纪晚石炭世煤田中部区，由于受北界阴山古陆，南界秦岭古陆与中条隆起的控制，因而含煤建造沉积，从北向南可分为北、中、南 3 个沉积带。

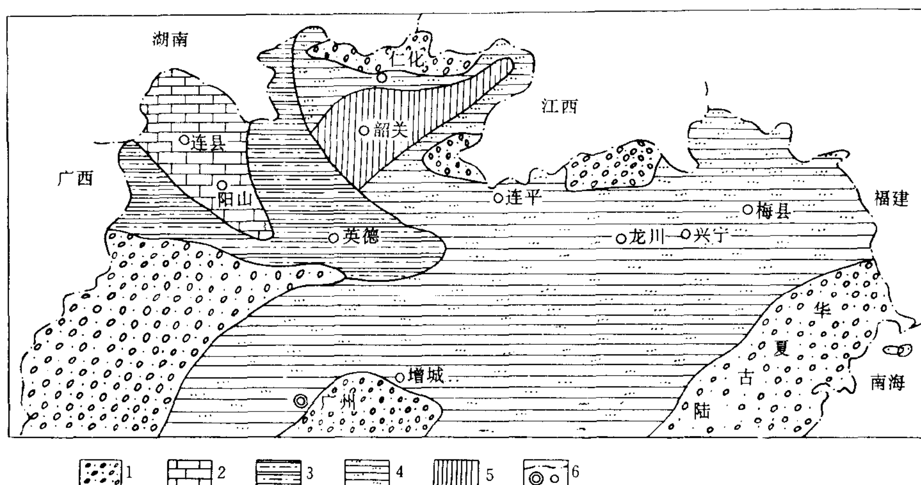


图2－2 粤北龙潭中期岩相古地理示意图

（据张希腾）

1－古陆、古隆起区；2－浅海碳酸盐岩相； 3－浅海碎屑岩相；
4－滨海碎屑岩相；5－海湾碎屑岩相；6－省界、市、县

表2－1 含煤地层沉积类型与煤田地质类型对应表

含煤地层沉积类型特征 / 煤田名称	含煤地层沉积类型	水文地质类型	水文地质复杂程度
连阳煤田	浅海碳酸盐岩相	岩溶充水矿床	复　杂
曲仁煤田	浅海－滨海碎屑岩相	裂隙－岩溶充水矿床	复杂—中等
兴梅煤田	滨海碎屑岩相	裂隙充水矿床	中等—简单

位于其中的煤田，因含煤地层岩相及岩性特征不同，煤田水水文地质条件亦有明显差异。

（1）**北带：大致位于北纬 37°30′以北，沿阴山古陆南缘分布，沉积环境属滨海冲积平原环境。在此沉积带范围内分布有，辽西、南票、京东、京西、兴隆、蓟玉、开滦、大同、宁武、平朔、准格尔、桌子山等矿区。南票、平朔、兴隆、京西矿区，距离古陆剥蚀面较近，岩相为陆相、海陆交替相沉积，含煤地层太原组厚度 19～97m，以碎屑岩为主，含水层为底部砾岩和下部中粗粒砂岩组成，富水性很弱，属裂隙含水层充水为主矿床，水文地质条件简单。例如，南票各矿井运输巷道均在砾岩中开拓，－150m、－68m 两个水平砾岩处于无水状态。富隆山斜井开采太原组七、八煤层，煤层最大采深为－68m 水平时，矿井正常排水量 20～30m^3/h。蓟玉、开滦矿区，距古陆稍远，沉积环境处于滨海冲积平原向滨海平原过渡地段，为海陆交替相沉积，含煤地层以砂岩、砂质泥岩沉积为主，夹薄层石灰岩 3 层，太原组厚度达 140m，含水层为不同粒度砂岩、薄层灰岩组成，煤 12～煤 14间砂岩裂隙发育，含水性较强，属裂隙含水层充水为主矿床，水文地质条件**

较复杂。例如，开滦矿区林西—赵各庄矿，煤12～煤14间一般段距45～70m，砂岩厚度约占段距1/2～2/3，岩巷涌水量分别为$5.83m^3/h$及$3.168m^3/h$，占矿井总涌水量的25.10%及11.4%。

(2) 中带：大致位于北纬34°30′～北纬37°30′之间，沉积环境属滨海平原环境，在此沉积带内分布有井陉、邢台、邯郸、峰峰、焦作、淄博、肥城、济宁、兖州，枣庄、韩城、潞安、晋城、霍县等矿区。岩相为海陆交替相，以浅海相，过渡相为主。含煤地层由碎屑岩、灰岩和煤层组成。太原组厚度50～170m，含水层为薄层、中厚层灰岩，层数3～11层，富水性中等一强，属岩溶含水层充水为主矿床，水文地质条件复杂。北方岩溶大水矿床主要分布在该带范围内。

(3) 南带：指北纬34°30′以南地区，在此沉积带内分布有豫西的新密、登封、荥巩、偃龙、临汝、平顶山、禹县，豫东的永夏，江苏的大屯、徐州，安徽的淮南、淮北等矿区。岩相为海陆交替相，以滨海—浅海相为主，含煤地层由碎屑岩、灰岩和煤层组成。太原组厚度30～170m，受秦岭大别山古陆隆起影响，靠近古隆的临汝矿区太原组厚度仅30～40m，至平顶山一带厚度约70m，含水层为薄层灰岩，灰岩层数5～15层。煤田水文地质条件与北带相似，同属岩溶充水含水层为主矿床，由十煤系基底中奥陶统灰岩在本带内厚度变薄，出露面积小，因而对太原组灰岩地下水的补给量有限，水文地质条件远不如中带复杂。

（二）含煤建造沉积的基底特征

含煤建造沉积的基底特征是指组成煤系基底岩层的岩石类型，含水层厚度、分布范围、出露条件和基底起伏状况及其与主要可采煤层的间距。因基底特征的不同，导致煤层在开采过程中底板充水和危害程度的差异。

如果组成煤系基底岩层为碳酸盐岩层含水层，往往构成底板进水为主的岩溶充水矿床，一般来讲水文地质条件复杂，矿坑涌水量较大，矿井排水费用高，在煤层开发过程中受岩溶水威胁，甚至发生灾害性突水事故，淹没矿井，且井下长期疏排岩溶水，导致地面塌陷等环境地质问题。煤系基底特征受聚煤期前地壳运动，聚煤期古构造格局和古地理环境控制。例如，华化晚古生代石炭二叠纪煤田，含煤建造形成之前的基岩地质情况，在震旦纪后，华北断块整体上升，遭受剥蚀，早寒武世中期本区沦为浅海，大面积接受了海相沉积（图2－3)。在晚寒武世末发生短暂海退后，开始下降，奥陶纪开始新的海侵，并逐渐扩大，大面积沉积了碳酸岩系（图2－4)。

中奥陶世，华北地区的沉积环境为浅海碳酸盐台地，沉积物为一套碳酸盐岩与硫酸盐岩混合建造，除豫西和渭北外，还有3个明显的沉积旋回，含石膏夹层的泥质白云岩、豹皮灰岩与生物灰岩等，每个旋回的上部为泥晶灰岩和含生物泥晶灰岩，可分为三组八段或六段（表2－2)，总厚度42～1002m。

奥陶系中统下马家沟组（O_2x）岩性为青灰、灰黄色中厚层状白云岩，厚度100～200m；上马家沟组（O_2s）岩性为浅灰、灰黄色厚层状灰岩，底部为白云质灰岩夹豹皮状灰岩，厚度200～300m；峰峰组（O_2f）由灰黑色灰岩，白云质灰岩夹多层角砾状灰岩组成，厚度50～150m（图2－5)。3个组的上、中部为中厚层状白云质灰岩和石灰岩为主，含水性强，为强岩溶裂隙含水层，下部以薄层微晶质白云岩和泥质灰岩为主，并含石膏或石膏微晶和膏溶角砾岩，含水性弱，形成相对隔水层。

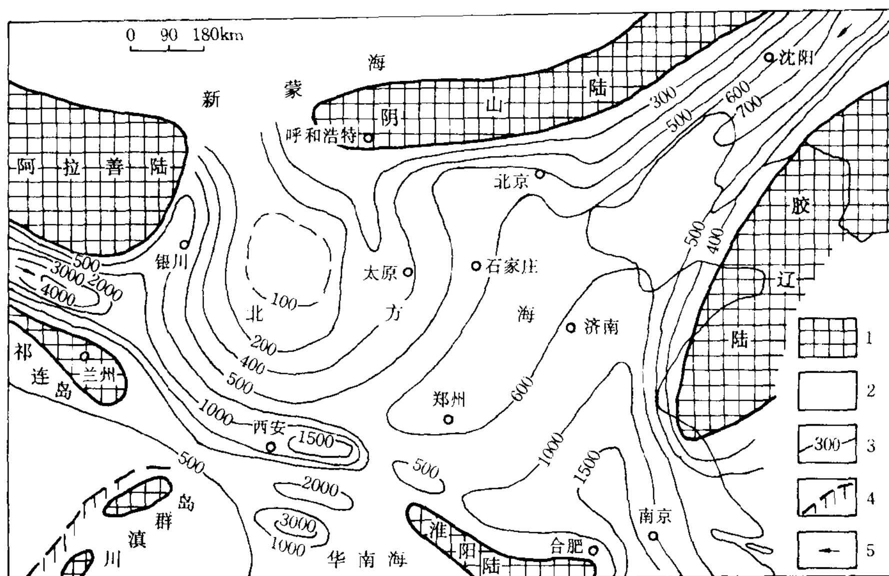


图 2-3 寒武纪($\in_{1-3}$)古地理及等厚线图

(据中国北方岩溶项目)

1-古陆；2-古海；3-地层等厚线（单位： m)；4-边缘海槽；5- 海进方向

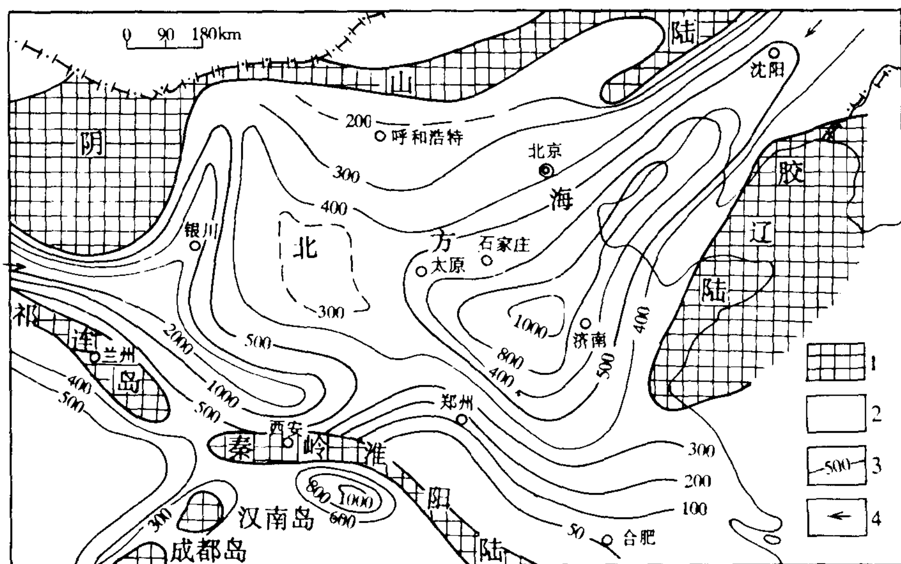


图 2-4 华北奥陶纪(O)古地理及等厚线图

(据中国北方岩溶项目)

1-古陆；2-古海；3-地层等厚线（单位： m)；4- 海侵方向

表 2－2　奥陶系中统划分区域对比简表

<table>
<tr><th colspan="3">山西—太行山地区</th><th colspan="2">鲁中南—徐淮地区</th></tr>
<tr><td rowspan="2">峰峰组</td><td>O_2f^2</td><td>O_2f^2</td><td>O_2^{3-2}</td><td>八陡组</td></tr>
<tr><td>O_2f^1</td><td>O_2f^1</td><td>O_2^{3-1}</td><td>阁庄组</td></tr>
<tr><td rowspan="3">上马家沟组</td><td>O_2s^3</td><td>O_2s^3</td><td>O_2^{2-2}</td><td>马家沟组</td></tr>
<tr><td>O_2s^2</td><td>O_2s^2</td><td>O_2^{2-1}</td><td rowspan="4">北庵庄组
（肖县组、
寨山组）</td></tr>
<tr><td>O_2s^1</td><td>O_2s^1</td><td rowspan="3">O_2^{1-2}</td></tr>
<tr><td rowspan="4">下马家沟组</td><td>O_2x^3</td><td rowspan="2">O_2x^3</td></tr>
<tr><td>O_2x^2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">O_2x^1</td><td>O_2x^2</td><td rowspan="2">O_2^{1-1}</td><td rowspan="2">贾旺组</td></tr>
<tr><td>O_2x^1</td></tr>
</table>

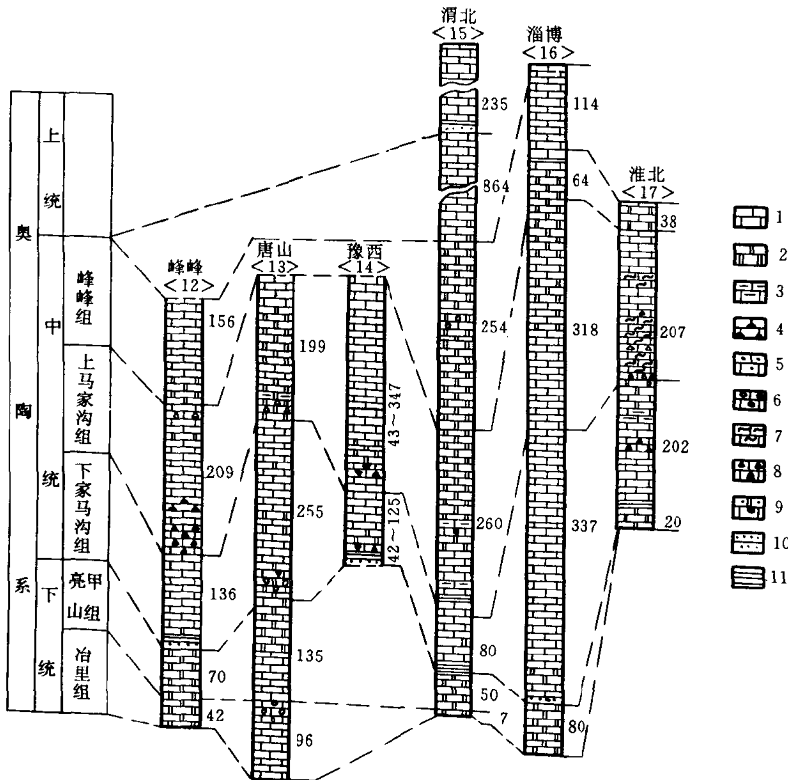


图2－5　奥陶纪地层柱状剖面对比图

1－灰岩；2－白云岩；3－泥质灰岩；4－含燧石条带灰岩、白云岩；5－鲕粒灰岩；6－竹叶状灰岩；7－豹皮状云灰岩或灰云岩；8－角砾状泥质灰岩；9－含石膏假晶灰岩；10－砂岩；11－页岩

中奥陶世后，大规模的造陆运动使华北整体上升为陆，遭受剥蚀，到中石炭世再度下降，接受海侵，沉积了一套海陆交替相含煤地层，中奥陶统石灰岩组成华北石炭二叠纪煤田煤系基底，各矿区水文地质条件复杂，属底板进水为主的岩溶充水矿床，主采煤层受煤系基底中奥陶统灰岩水威胁，是我国煤矿水害最严重的地区，区内的焦作、淄博、峰峰、肥城等矿区，矿井排水量大，为我国北方著名的岩溶大水矿区。

湖南湘中挠摺带南、北两侧，成煤时代虽然同属晚二叠世龙潭组，但是煤田水文地质条件绝然不同。南侧煤田至湘南各煤田，煤田水文地质条件简单，为裂隙含水层充水的矿床；北侧的煤田主要可采煤层受煤系基底茅口灰岩水威胁，为岩溶含水层充水为主的矿床，水文地质条件复杂。区内的煤炭坝，恩口、银田寺、云湖桥、坪塘、斗笠山、桥头河等矿区，为我国南方岩溶大水矿区。

湖南湘中挠摺带南、北两侧煤田水文地质条件大不相同的主要因素是，聚煤期的古构造对南、北两侧煤系基底特征控制截然不同而造成的。湘中地区晚二叠世含煤建造（龙潭期）受黔湘赣区域东西向构造带——湘中挠摺带的显著控制（图 2－6）。早二叠世末，由于东吴运动的影响，挠摺带的北侧一度抬升为陆，与江南古陆一样，遭受剥蚀，早期石灰岩地区造成岩溶化；而挠摺带的南侧则继续沉降接受茅口组晚期的含煤沉积，到晚二叠世早期，龙潭期海侵才侵过挠摺带北而达到江南古陆，因此，沿此挠摺带沉积分异显著，形成湘中南、北型的区别。南侧龙潭组主要可采煤层下伏的早二叠统茅口灰岩被厚度约 200～300m 龙潭组下段（P_2l_1）砂、泥岩类岩层阻隔，一般不存在底板突水。北侧涟源至韶山一带，晚二叠世龙潭组由南向北超覆沉积在早二叠世茅口组灰岩侵蚀面之上，龙潭组主要可采煤层之二煤层与早二叠统茅口组灰岩间距很近，一般几米至十几米，由于茅口灰岩离煤层非常近，岩溶化十分强烈，因而岩溶承压水往往突破底板而溃入矿井。

在川西、滇东、黔西地区，早二叠世晚期至晚二叠世前期，由于东吴运动的强烈影响，发生了大规模玄武岩喷发运动，称峨嵋山玄武岩，常覆盖于茅口组石灰岩之上，其成煤期大致相当于龙潭组不含煤段，厚度达 200～300m ，一般富水性弱，为良好的隔水层。在峨嵋山玄武岩组分布区内上二叠统龙潭组煤矿区，下二叠统茅口灰岩岩溶水不向矿井充水，形成了滇黔和川南地区上二叠统龙潭组、宣威组以裂隙含水层充水为主的矿床，水文地质条件一般较简单。例如，川东上二叠统龙潭组煤田有华蓥山、天府、南桐、松藻矿区，均为岩溶含水层充水为主的矿床，水文地质条件复杂。川南上二叠统龙潭组煤田有筠连、芙蓉矿区，正位于峨嵋山玄武岩组，分布在康滇古陆及其周围地带向东伸出延展到川南古蔺的北支细条带范围内，峨嵋山玄武岩组阻隔了茅口灰岩水向矿井充水，煤田水文地质条件简单，为裂隙含水层充水为主的矿床。

（三）含煤地层的上覆盖层特征

含煤地层上覆岩层的含水性及含水特征，是决定煤田水文地质条件的重要因素之一。而盖层的含水性及含水特征又取决于组成盖层的岩石性质及其层序组合。这又是由盖层沉积时的古地理条件与沉积环境及其时空变迁所决定的。这显然是受大地构造及地史条件所控制的。

例如，华南晚二叠世龙潭组含煤地层沉积之后，华南地壳普遍下沉，除了江南、雪峰、武夷、云开等古陆呈岛状分布，川滇古陆的东缘仍为陆地外，其它大部分地区均被海水侵没。从而在龙潭组含煤地层之上普遍沉积了长兴组石灰岩以及同期异相的大隆组硅质

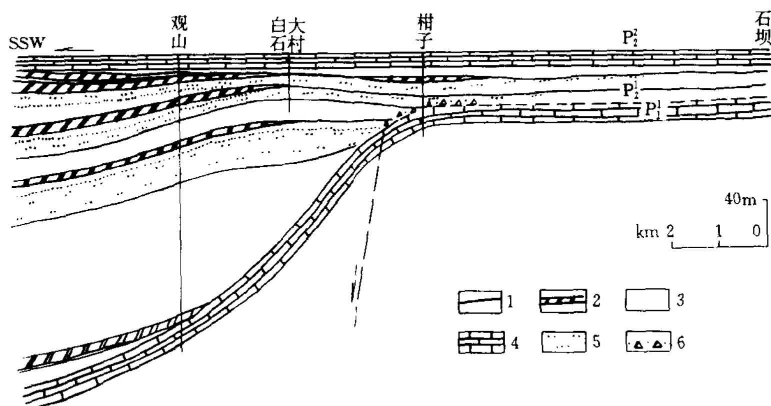


图2－6　湖南涟邵斗笠山矿区二叠纪含煤沉积剖面示意图
(据中国煤田地质学)
1－煤层；2－碳质泥岩；3－泥岩；4－灰岩；5－砂岩；6－底部角砾岩

岩和川滇古陆东缘的长兴组陆相含煤地层。使干中、湘中、鄂南、川东、黔中等地的龙潭组煤层普遍受到顶板水——长兴灰岩岩溶水的威胁。尤其对龙潭组的上组煤威胁更为严重（如干中的 C煤组）。而其它地区的龙潭组顶板则以裂隙水为主。

又如，华北的石炭二叠纪煤田，在石盒子组煤层沉积后，地壳仍继续上升，且气候转为干燥，故石盒子组含煤地层的上覆盖层全为陆相红色岩层（包括上石盒子上部及石千峰组）。一般不存在顶板水威胁问题。但东部黄淮平原经过燕山期的褶皱、断裂和夷平后，又缓慢下沉，堆积了巨厚的新生界松散层，使石炭二叠纪煤层露头与新生界松散层直接接触，新生界的松散含水砂层对浅部煤层开采造成不利条件。

再如，从印支运动以后，中国除西藏南部外，其余已全部上升为陆，故所有中生代及新生代煤田的上覆盖层全为陆相沉积，只含有裂隙水及孔隙水，不含岩溶水。

东北三江平原中的晚侏罗一早白垩世煤田，含煤地层及沉积基底的水文地质条件都很简单。但燕山晚期三江平原上升为陆，经过剥蚀夷平后，于喜马拉雅运动中又再次下沉，沉积了巨厚的新生界含水砂层，使晚侏罗一早白垩世煤田的水文地质条件变得比较复杂。

（四）成煤以后的构造变动及改造

对于任何一个煤田，其含水构造规模的大小、含水层的补给排泄条件、各含水层间的水力联系、断层的多少及其导水性如何、褶皱的形式、煤层埋藏的深浅、含水层水头压力的高低、煤层及含水层露头的覆盖情况等等，都是决定煤田水文地质条件的重要因素。这些，都是成煤以后的构造变动及改造的结果。而且和煤田所处的大地构造单元的性质、部位及其发展历史密切相关。

例如，华南晚二叠世龙潭组含煤地层沉积时，原本分布面积非常宽广，遍及川滇古陆以东的华南各省（区），但在后来的印支及燕山各次构造运动中，产生箱状褶皱群及大量断裂，并强烈上升，经过长期剥蚀及夷平，使大部分含煤地层尤其是雪峰古陆以东的含煤地层被剥蚀殆尽，只残留一些零星分布的中、小向斜，遂成为今日的龙潭组煤田分布面

貌。致使华南龙潭组煤田具有含水构造规模小、补给、排泄条件好、岩溶发育强、地下水交替强而循环深度浅诸水文地质特点。

华北石炭二叠纪煤田，则因其沉积于刚性较强的华北地台之上，在强烈的印支及燕山运动中以脆性变形为主，即以断裂及断块升降运动为主，以宽缓褶皱为辅。上升幅度较大的断块，其含煤地层被剥蚀掉，而下降断块及上升幅度较小的断块则被保存或部分保存下来，形成一系列的大、中型自流盆地、自流向斜或自流斜地。故华北石炭二叠纪煤田具有含水构造规模大、地下水循环深、岩溶发育深度大、煤矿底板突水水量大等水文地质特征。

喜马拉雅运动使太行山以西抬起为晋陕高原，以东则下降为华北平原。将辽阔的华北石炭二叠纪煤田分为水文地质条件显著不同的两大部分。在晋陕高原，除霍县矿区、轩岗矿区及渭北煤田东段外，其余煤层底板下伏奥灰含水层的水位一般距地表很深，有很大部分煤炭资源赋存于奥灰水位以上或虽在奥灰水位以下但水头压力不高，对开采二叠系山西组煤层来讲，一般无底板突水之虞。而华北平原则煤层一般均埋藏于奥灰水位标高以下，水头压力一般很高，煤层开采时往往发生底板突水，使矿井屡遭淹没或部分淹没，为害很大。又由于地表多被巨厚新生界含水砂层所覆盖，因而也给煤矿开发与开采造成困难。

二、岩性及地层组合

(一)岩 性

岩性是指煤层本身及其顶底板的岩层以及煤层上部和下部所有岩层的岩性。它一般分两类：一类是含水岩层岩性。如，石灰岩、砂岩、砂砾岩、砂层等，它们是地下水赋存和运动介质，采煤巷道揭露含水岩层时，赋存于岩层中的水就会流入巷道。如果煤层顶底板均为含水岩层，在掘进巷道或回采时，地下水将直接流入或突入巷道或采区。另一类是隔水岩层岩性。如，泥岩、砂质泥岩、粘土等，它们是阻隔地下水运动的不透水介质，采煤巷道揭露隔水岩层，不会有水流入巷道。如果煤层顶底板为隔水岩层，在其中掘进巷道或回采煤层时，当回采面积达到相当大时，改变了自然重力场，在隔水岩层厚度及其存在的固有裂隙，地质构造、矿山压力和地下水压等因素相互作用下，发生顶板跨落或底板鼓起，则原来与煤层隔绝的上、下含水岩层中的水或地表水便会流入巷道。

组成煤系的岩层主要是砂岩、泥岩、砂质泥岩和石灰岩，煤系下伏的岩层往往为厚层石灰岩。对煤矿而言，常见四种岩石类型：碳酸盐岩类、坚硬岩类、疏松及半胶结岩类，松散岩类。不同岩类，岩性不同，其含水空间形态、发育规律不同，透水性和富水性及其差异性各异，所以岩性也是影响煤田水文地质条件的一个重要因素。

1. 碳酸盐岩类

含水空间形态为溶蚀裂隙，溶蚀溶洞和溶蚀管道（暗河），相对于松散或裂隙岩层而言，含水介质显得十分不均一，富水性强。据钻孔抽水试验资料，单位涌水量 q 值可达每秒每米几十升。巷道在石灰岩中掘进，可能在相当一段距离内，巷道壁与顶、底面岩层完整，一旦揭露裂隙、溶洞、暗河就会出现许多突水点，水从裂隙与溶洞中流出来，个别出水点可涌出大量水与泥砂，而淹没与堵塞巷道。例如，渭北韩城矿区马沟渠矿，在中奥陶统灰岩地下水位＋380m标高以下 240m水平掘进巷道，主石门揭露岩性以中厚层状灰岩为主，1976 年 8 月 6 日当 240m 主石门掘进至距车场石门 460m 时，左帮底眼打到

0.7m 深处，发现孔内有一裂隙从孔中流出黄泥水，放炮后，突然大量涌水，涌水量约 $5956m^3/h$，淹没 240m 水平全部巷道（图 2－7）。桑树坪矿位于韩城北部，东距黄河约 3km，地面标高约＋450m，斜井井下开采水平为＋280m，＋380m 以下中奥陶统石灰岩岩层内掘进巷道长约 4000m，在＋280m 大巷中，先后共有 8 处出水，出水量总计达 $1370m^3/h$（图 2－8）。

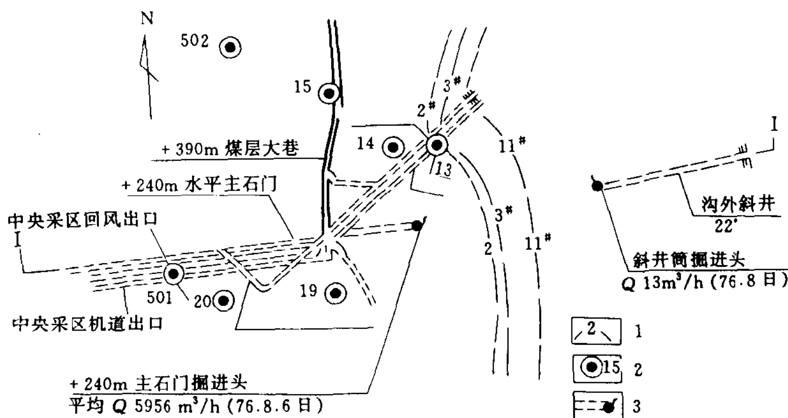


图 2－7　韩城矿区马沟渠矿中奥陶统石灰岩出水点分布示意图

1－煤层露头及编号；2－钻孔；3－井巷出水点

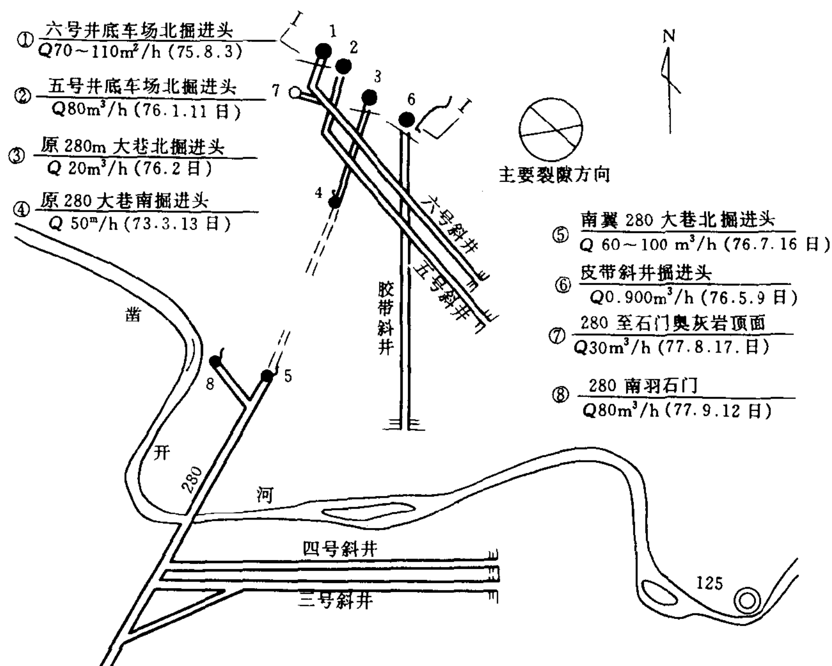


图 2－8　韩城矿区桑树坪煤矿中奥陶统石灰岩出水点分布图

湖南斗笠山矿区香花台、黄港、湖坪 3 对矿井在茅口灰岩中掘进巷道，突水点成群分布，呈为突水区（段），各突水区之间相距 30～150m，香花台矿井 －22m 水平在 1200m 巷道中见突水区 127个，共 207 个突水点， －100m 水平 1100m巷道中遇 8 个突水区，51 个突水点，同一水平各突水区突水点之间一般水力联系良好，掘进遇到新的突水点，其最后一个突水点水量往往有不同程度的减少（图 2－9）。

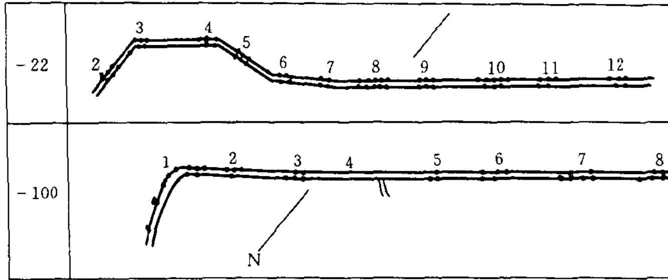


图 2－9　香花台矿井茅口灰岩突水点分布示意图

四川省重庆天府矿区江北煤矿开采晚三叠世岭溪煤组的煤层，位于龙王洞背斜中段，嘉陵江石灰岩隐伏于煤组煤层下面，平硐揭穿背斜，揭露底板嘉陵江石灰岩裂隙，裂隙上方发育 1条暗河，发生了暗河水量溃入巷道，最初涌水量高达 $9\times10^4 m^3/h$，72 天之内排出水量 $1680\times10^4 m^3$．

碳酸盐岩的岩石化学成分、矿物成分和岩石结构的不同，影响着含水介质空间形态、发育程度，造成岩溶含水层的含水性及其不均一性有明显差异。根据阳泉、古交和峰峰矿区的资料，对不同类型碳酸盐岩的岩石样品进行了室内溶蚀试验，其试验结果表明：

（1）岩石成分对可溶岩溶蚀速度和强度有决定性影响（图 2－10）。灰岩类岩石化学

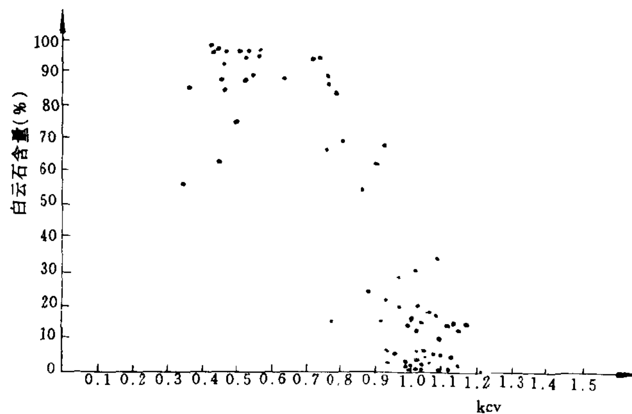


图 2－10　碳酸盐岩成分与 KCV 关系图

（据中国北方岩溶项目）

成分中，CaO/MgO 比值为 14.90～68.91，矿物成分中方解石占 79%～95%，其比溶解度、比溶蚀度大多数大于 1。而白云岩类岩石化学成分中，CaO/MgO 比值为 1.05～2.41，矿物成分中白云石占 61%～90%，其比溶解度 0.37～0.80，比溶蚀度 0.34～0.96，都小于 1。灰岩类岩石比白云岩类岩石的溶蚀速度约大 0.3～1倍（表 2-3）。因此，岩溶在石灰岩中一般比在白云岩中发育。

表2-3　岩石溶蚀试验成果表

岩石名称	层位	化学成分（%）（平均值）				矿物成分（%）（平均值）		孔隙度平均值（%）	比溶解度平均值 KIV	比溶蚀度平均值 KV
		CaO	MgO	CaO/MgO	酸不溶物	方解石	白云石			
白云石化灰岩	O_2f^2、O_2s^{2-3}、O_2x^{2-3}	50.83	3.31	15.34	2.20	82.74	14.74	0.63	1.01	1.19
亮晶粒屑灰岩	O_2x^{2-3}、$\in_3g$、$\in_2z$	51.73	2.04	25.35	3.41	88.02	7.88	0.49	1.06	1.16
泥晶粒屑灰岩或粒屑泥晶灰岩	O_2f^2、O_2s^{2-3}、$\in_3f$	53.75	0.78	68.91	2.36	95.02	1.35	0.70	1.04	1.07
泥晶灰岩	O_2f^2、O_2s^{2-3}、O_2x^{2-3}	52.38	1.51	34.68	3.13	90.17	6.23	1.22	1.04	1.12
角砾状含白云质泥晶灰岩	O_2s^1	50.98	3.42	14.90	3.97	79.92	16.10	5.96	1.17	1.13
灰质白云岩	O_2f^1、O_2s^1、O_1 $\in_3f$、O_2x^{2-3}、O_2s^{2-3}	38.21	15.84	2.41	3.38	34.35	61.79	2.63	0.78	0.82
泥晶白云岩	O_2	30.70	18.48	1.66	5.36	10.10	84.50	7.90	0.80	
粉晶白云岩	O_2f^1、O_2x^1、O O_1l、$\in_3f$、O_2x^{2-3}	29.50	15.59	1.05	6.02	5.50	85.97	2.25	0.75	0.96
微、细晶白云岩	O_1l、O_1y、$\in_3f$	28.86	19.80	1.46	6.41	2.87	90.18	2.53	0.62	0.63
中、粗晶白云岩	O_1l、$\in_3f$	30.09	20.54	1.46	3.73	2.93	87.84	3.01	0.55	0.61
不等粒亮晶白云岩	$\in_3f$、$\in_3s$	31.48	20.60	1.52	0.82	5.99	92.27	1.18	0.46	0.48
含泥质细晶白云岩	O_1y	26.97	19.01	1.42	11.09	1.79	85.38	1.55	0.37	0.34

（据中国北方岩溶项目）

含有酸不溶物难溶成分高的碳酸盐岩，对岩溶作用是不利的，随难溶成分增加岩溶作用减弱。

根据峰峰矿区中奥陶统石灰岩水文地质勘探资料表明质纯灰岩 CaO 含量高，粘土质不溶物低，富水性强，石灰岩岩性不纯，化学成分中泥质含量大，矿物成分中不溶物含量高，岩溶发育程度差，富水性弱（表 2-4），勘探资料完全证实了上述室内试验结果。

(2) 岩石结构对岩溶发育有直接影响。从表 2-3 可以看出，矿物结晶颗粒愈粗，比溶解度值愈小，其比溶解度平均值为：泥晶白云岩 0.80，微、细晶白云岩 0.62，中、粗晶白云岩 0.55。这是因为在一定条件下，岩石的矿物颗粒愈细，其总的孔隙度和溶蚀表面积就愈大，比溶解度也随之增大的缘故。

综上所述，中奥陶统泥晶灰岩、泥晶粒屑灰岩和亮晶粒屑灰岩有溶隙、溶穴和溶洞发育。白云岩化结晶灰岩（俗称花斑灰岩或豹皮灰岩），岩石中因不均匀白云石化作用而含一定量的白云质斑块，此类岩石比溶解度（1.01）和比溶蚀度（1.19），发育有溶孔、溶

隙和规模较大的溶洞，形成强岩溶裂隙含水层，成为北方石炭二叠纪煤田底板岩溶水危害严重的内在因素。

表 2-4　峰峰矿区中奥陶统灰岩富水性与主要化学成分、矿物成分关系简表

含水层名称	地层层段	主要岩石名称	主要化学成分（%）（平均）			主要矿物成分（%）（平均）			岩溶形态及其发育程度	含水特征	一般单位涌水量（L/s·m）
			CaO	MgO	SiO_2	方解石	白云石	不溶物			
第三含水层组	O_2f^2	角砾状灰岩 石灰岩 花斑灰岩	48.72	2.77	0.63	70～90	5～20	<5	溶隙、溶洞为主，其发育程度随埋深而减弱	裂隙岩溶水	0.266～42.958
			53.33	1.67	0.29						
第二含水层组	O_2s^3、O_2s^2	角砾状灰岩 石灰岩 花斑灰岩	51.34	1.51	2.62	65～90	5～30	2～8			0.351～11.399
			50.36	2.26	1.99						
第一含水层组	O_2x	石灰岩 花斑灰岩	49.63	3.32	1.44	75～85	10～20	<5			
第三相对隔水层组	O_2f^1	白云质角砾泥灰岩 蜂窝状白云岩	41.22	4.02	10.60	35～60	15～35	10～25	以溶孔为主，联通性差，其发育程度与埋深关系不明显	裂隙孔隙水为主	0.192～0.829
第二相对隔水层组	O_2s^1	白云质角砾泥灰岩 蜂窝状白云质灰岩	89.77	5.76	5.56	35～60	20～45	8～15			
第一相对隔水层组	O_2x^1	角砾灰岩 角砾泥灰岩 蜂窝状白云质灰岩	38.19	6.76	10.71	35	35	15			

（据煤炭工业部水源开发队，峰峰矿区王凤煤矿水文地质报告）

2. 坚硬岩类

地下水贮存和运移于裂隙中，而沉积岩的成岩裂隙，一般裂隙比较细小，含水极微弱，对矿井充水意义不大。

对于侏罗纪、三叠纪和石炭二叠纪煤田来讲，煤系内不同粒度砂岩，一般岩石致密坚硬，容易形成裂隙含水层。其含水空间为风化裂隙与构造裂隙，含风化裂隙水和构造裂隙水。在采煤过程中，它成为不可避免要揭露的直接充水含水层。

砂岩内裂隙发育，根据钻孔抽水试验资料，单位涌水量 q 值一般在 0.1～1.0L/s·m，巷道在砂岩裂隙含水层内掘进，顶板呈现滴水和淋水现象，揭露导水裂隙发生突水时，一般较在石灰岩中揭露溶蚀裂隙、溶洞、暗河时，出水量小。例如，徐州矿区从 60 年代以来，各矿井在开采下石盒子组煤层过程中，曾发生过百余次的顶板砂岩突水，突水量一般 20～190m^3/h，最大可达到 660m^3/h。

坚硬岩石的浅部，普遍分布有比较密集、均匀、相互连通的网状风化裂隙带，裂隙发育深度一般可达几十米，其中赋存着孔隙一裂隙型潜水或裂隙潜水，形成矿井浅部直接充水含水层。当风化裂隙带暴露于地表时，将成为大气降水和老窑水进入矿井的主要通道。例如，湘南晚二叠统龙潭组，闽西南和闽中区晚二叠统童子岩组，滇东、黔西、川南区晚

二叠统宣威组煤层开采时，矿井浅部充水，即属那种方式；当上覆第三、四系时，将成为第三、四系下部与底部含水层地下水进入矿井的主要通道，北方石炭二叠纪煤田，河南焦作、安徽潘集—谢桥、濉溪—萧集、宿县、临涣等矿区，矿井浅部充水也属那种方式。

煤系浅部风化裂隙带，因裂隙中常有泥质充填物填塞，而其富水性一般并不很强，不易产生淹井事故。

坚硬岩石的构造裂隙（含区域构造裂隙和局部断层构造裂隙）分布在风化裂隙带之下，区域构造裂隙中赋存着层状裂隙水，局部断层构造裂隙中赋存着脉状裂隙水，当采煤时，两者构成矿井直接充水含水层。无论区域或局部构造裂隙，裂隙张开程度、连通程度和密集程度，在水平和垂直方向上变化很大。开滦矿区矿井运输大巷在煤系砂岩中掘进，往往呈现间断性出水，在几百米长度内无水或水量甚微，而遇裂隙发育密集地区就有水流出。

区域构造裂隙发育程度随深度的增大而减弱，表现在裂隙含水岩层富水性、矿井井筒涌水量和矿坑涌水量等方面随深度而减弱。

局部构造裂隙受到局部断裂构造应力影响，沿着断层两侧裂隙发育密集而相互连通，距断裂带一定距离，裂隙发育减弱，连通性差。在井下，煤层顶板砂岩裂隙水水量增加，多半是井巷或回采工作面遇到落差数米或10余米断层而发生突水造成的。

煤矿生产实践证明，煤层顶板砂岩裂隙突水来得快、初期水量大，易造成工作面跨落被淹，后期水量逐渐减少以致消失（表2-5）。

表2-5 徐州、鸡西、开滦矿区砂岩裂隙含水层水突水情况表

矿区名称	矿井名称	突水地点	构造裂隙富水部位	涌水量 (m^3/h)	说明
徐州	瞖城	116皮带轨道遇落差10m新断层	断层破碎带	100	10天后基本消失
	张小楼	2216工作面遇 F_1 断层	断层破碎带	263	造成局部淹没工作面，一周后水量变小
鸡西	恒山	九井二斜绞车道遇 F_{19} 号断层	断层破碎带	100	1969年11月见水，1973年测量仍有 $40m^3/h$ 的涌水量
	穆陵	二井一、二区石门，在12号测点后28m遇见81号断层	断层破碎带	80	初期涌水量为 $30m^3/h$，往前掘进3天后水量增加到 $80m^3/h$，3天后降至 $45m^3/h$，涌水2年后，仍有 $35m^3/h$
开滦	范各庄	徐家楼-340m水平巷道过 F_1 断层50m	断层两侧构造裂隙带	47.4	断层东侧见有0.8～1.4m宽的破碎带两条
		徐家楼-340m中石门穿过 F_2 断层55m	断层两侧构造裂隙带	193.8	两侧裂隙发育

3. 半坚硬半胶结岩类

半坚硬半胶结岩类特点：岩石力学强度低。根据辽宁沈北，吉林舒兰老第三纪煤田，云南昭通，先锋新第三纪煤田，含煤地层岩石力学强度试验，泥岩、粉砂质泥岩在天然状

态下，抗压强度 0.6～2.8MPa，抗拉强度 0.033～2.02MPa，内摩擦角 28.90°～44.50°，凝聚力 0.3～1.81MPa。泥岩在饱水条件下，具塑性，易膨胀，膨胀量达 10%左右；砂岩疏松不稳定，含水丰富，组成含水砂层和含水流砂层。巷道在半坚硬半胶结岩层内掘进，除了发生巷道变形、底鼓等工程地质问题外，还发生的主要是溃沙问题，当巷道或采区超前放水孔揭露含水流砂层后，发生溃砂，水砂混合流出，淹没巷道，地表产生塌陷坑。当煤层底板含水流砂层地下水压较高时，隔水层较薄，往往产生底板突水亦可引起溃砂。吉林舒兰矿区，于 1960～1975 年曾多次发生溃砂事故，影响了生产（表 2-6）。

表 2-6 丰广、吉舒、舒兰、东富矿井突水溃砂情况表

矿井名称	突水突砂情况							原因	
	位置	日期（年）	延续时间	方式	涌水量（m^3/h）	总涌水量（m^3）	涌水量（m^3）		
丰广三井	+170m 反石门 12 层底板含水层	1967	10 年零 7 个月	巷道突水	1411	15 万	8 万	底板掘进 23m（12 层），底板厚度小于 2.5m，泥岩水头高 55m	1 个月后稳定流量 $30m^3/h$，溃砂后 8 小时地面塌陷，破坏严重
吉舒四井	+163m 石门一层煤底板含水层	1965	6 个月	掘进顶板冒落	400	76 万	9500	超前孔竣工后，掘进底板，安全厚度不够，斜长 300 m，水头高 60m	地表塌陷严重稳定水量 $20m^3/d$，停产 3 个月
吉舒二井	+167m 石门一层底板含水层	1966	6 个月	钻孔放水	300	25 万	2800	超前孔孔口套管封闭不牢	65 小时后地面塌陷
舒兰一号井	副井 +160 m13 层 11 腰巷头	1975	24 小时	冒顶突砂	151	1800		在掘进中，11 层顶板砂层水冒顶，溃砂出水	
舒兰一井	副井 +160 m11 层掌子头	1975	18 小时	冒顶突砂	720	2196		在掘井巷道中，放炮和封顶质量差，引起溃砂	10m 巷道废弃，停产 2 天
东富一井	左〇路二石门	1964		钻孔涌水	185	1500			溃砂淹巷冒至地表第四纪连通
东富一井	右二路十五层	1969		钻孔涌水	250	1800			溃砂淹巷 250m
东富一井	右二路十五层二石门	1969		钻孔涌水	110	1 万			溃砂淹没巷道 150m

4. 松散岩类

松散岩类主要由各种粒径的砂，砂砾、卵石和粘土层组成。含水空间为粒间孔隙，地下水赋存与运移于粒间孔隙内，由于孔隙在松散岩层中的分布较均匀，因而含水介质比较均一，其透水性及其差异的变化较裂隙和岩溶含水层为小。不同成因类型的松散沉积物，其富水性有明显差异性。

例如，元宝山露天煤矿，位于内蒙古自治区赤峰市东部英金河河谷平原之上，第四系孔隙含水层覆盖在侏罗纪煤系之上，其厚度 50～70m，是影响露天矿开采的直接充水含水层。该含水层上段为强富水段，全区分布，由冲洪积作用下形成的沉积物，其岩性为圆砾夹砂砾及卵石组成，粒径一般 2～40mm，厚度一般 5～30m，钻孔单位涌水量 q 值 53.63～143.1L/s·m，渗透系数 255.4～636.98m/d。下段主要是冰碛、冰水堆积物为中等富水和弱含水段，前者分布在河谷平原西南部，其岩性为泥沙质砾（卵）石夹砂砾、砂层组成，含有较多泥砂质颗粒，厚度 10～35m，渗透系数 K 值 122.59～146.64m/d。后者分布在河谷平原东北部，其岩性为泥沙质砾（卵）石夹砂砾、砂层组成，为大小极不相同的各种砂、砾（卵）石和砂土相混杂，砾径大者可达 100～200mm，磨圆度差，岩心成柱状（图 2－11、图 2－12）。露天矿第四系孔隙含水层疏干工程，当疏降地下水降至底部弱水段时，出现含水层地下水难已降压疏排现象。

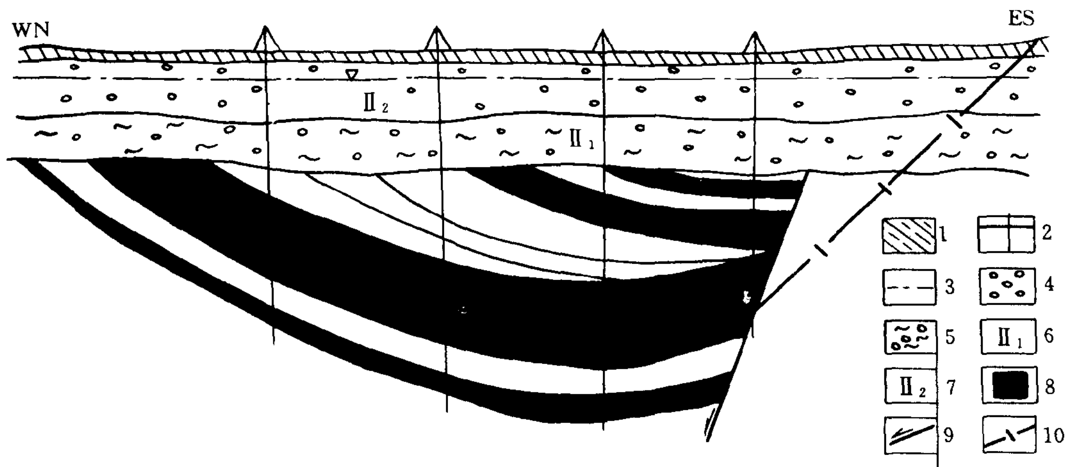


图2－11　元宝山露天水又地质断面示意图

（据 104勘探队）

1－亚粘土；2－钻孔；3－潜水位；4－圆砾；5－泥砂质砾石；
6－中等富水段；7－强富水段；8－煤层及编号；9－正断层；10－露天边界

又例如，黄淮沉降平原区煤田，黄淮地区自第三纪以来，由于地壳下降，接受黄河、淮河搬运来的物质，堆积了很厚的松散沉积物，覆盖在石炭二叠纪煤系之上，沉积物以冲积物为主，有河床相、河漫滩相、牛轭湖相。孔隙含水层由各种粒径的砂，砂砾层组成，富水性较强，钻孔单位涌水量一般在 1L/s·m左右。古河床相沉积，砂层粒度粗，厚度大，含水丰富，而河漫滩相砂层厚度小，层次少，多为薄层粘土和砂质粘土互层，富水性差，故含水层富水性在横向上有变化。沉积物为多层结构，可划分为几个含水层组和隔水层组互层分布，而下部含水层组往往具承压性，补给条件差。淮南煤田潘集矿区新生界垂向上可划分为上、中、下 3 个含水层组和上、中、下 3 个隔水层组。下部含水层组由下而上又可分为下含 1、下含 2、下含 3，其间相应赋存着下隔 1、下隔 2、下 隔 3（表 2－7）。

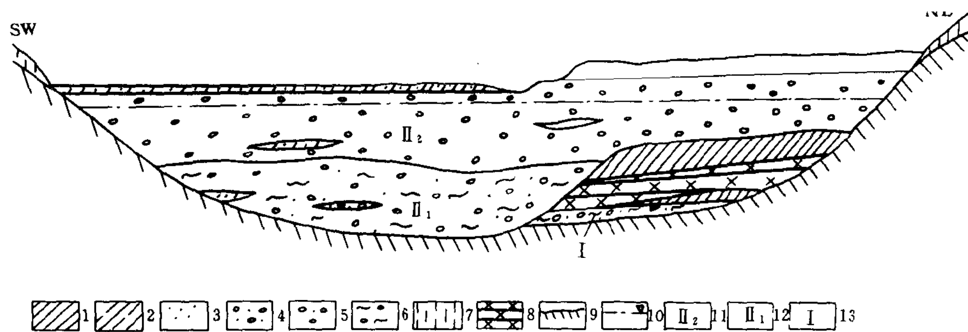


图 2-12　元宝山露天河谷水文地质断面示意图

（据 104 勘探队）

1-粘土；2-亚粘土；3-砂；4-砂砾；5-圆砾；6-泥砂质砾石；7-黄土质亚粘土；8-玄武岩；9-煤系；10-潜水位；11-强富水段；12-中等富水段；13-第四系承压含水层

表 2-7　潘集矿区新生界含、隔水层对比划分综合简表

项目 / 含隔水层	厚度 最小～最大 / 平均 (m)	岩性	富水性 单位涌水量 q (L/s·m)	富水性 渗透系数 K (m/d)
上含	69.35～133.60 / 95.70	中粗砂为主	0.91～0.18	3.6～9.3
上隔	0.77～31.04 / 6.39	粘土层		
中含	40.84～227.50 / 145.16	主要为中、细砂层	0.08～1.01	1～4.7
中隔	14.81～78.73 / 43.39	膨胀性缅的粘土		
下含	0～79.45 / 46.67	粗中砂、砂砾层有时含粘土泥质	0.02～2.4	
下隔	0～36.10 / 10.80	粘土层		

（据淮南矿务局）

分布在河谷平原和山间谷地的松散砂砾层，是河床相与河漫滩相沉积，一般组成河谷二维结构，含潜水，富水性强，往往与河流有水力联系。当砂砾层覆盖在煤系之上时，潜水、河水、煤系水三者存在着水力联系，砂砾层潜水成为矿井充水水源。例如，山西霍县城关大队煤窑，分布在对竹河庄一带，河底底盘为山西组含煤地层，第四纪砂砾层潜水与煤系含水层互相贯通，生产矿井排水受季节影响明显，潜水通过基岩风化带对开采上组煤

（1、2 号）有充水影响，在洪水期矿井受到潜水充水影响，降水量与排水量均为高峰，枯水期、平水期即河水干枯（图 2－13）。

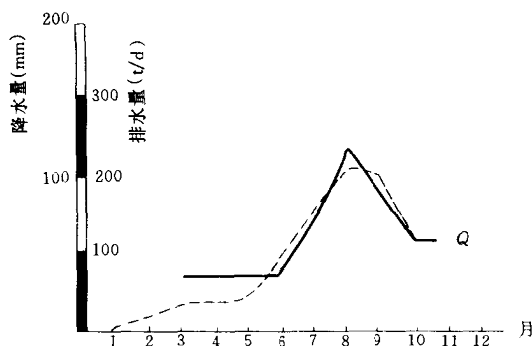


图2－13　霍县城关大队煤窑降水量与排水量相关曲线图

（二）地层组合

地层组合是指煤层上覆和下伏的碳酸盐岩类，基岩岩类和松散岩类的岩层各自组合特征，即组成地层的岩石类型厚度比例及其组合形式和同一岩类不同岩性的厚度比例及其组合形式。地层组合制约看上述三种岩类岩溶、裂隙和孔隙发育特征及其富水程度。

煤系由砂岩、砂质泥岩、泥岩岩层等组合而成，它们都有自身的物理力学性质，在相同的构造应力作用下，砂质泥岩、泥岩（柔性岩层）发生塑性变形，产生细小裂隙，易被风化物充填或遇水而膨胀使裂隙闭合，成为隔水层。而砂岩一般致密坚硬发生破裂变形，形成构造裂隙，并在渗透水流冲刷下，使裂隙开启程度进一步扩大，成为易透水和贮水的含水层，因此对煤系基岩裂隙水含水层而言，砂岩厚度和泥岩、砂质泥岩厚度之比，其比值大小和其富水性有关，比值大、富水性强；反之，富水性弱。单层砂岩厚度小、颗粒细，裂隙密度较大，但张开性较差；反之，单层砂岩厚度大、颗粒粗，裂隙密度较小，但张开性好，富水性强。例如，黑龙江省勃利矿区侏罗纪含煤地层 32 号及 33 号煤层附近沉积砂砾粗砂岩，厚度 80m 左右，是全矿区发育的主要含水层。根据钻孔抽水试验资料，单位涌水量 q 值均在 1.5～6L/s·m，双鸭山矿区宝山矿 20 号煤层底板有一套粗砂岩，富水性很强，鸡西矿区恒山矿 4 号煤层顶板，厚层粗砂岩富水性也很强。河北开滦矿区煤系，主要由中粗粒砂岩、粉砂岩、泥岩、砂质泥岩组成，地下水以裂隙水的形式贮存于钙质和硅质胶结的刚性砂岩之中，第一个可采煤层（煤 5）的上部砂岩（采空塌陷影响所及的 0～100m 范围内），以中粗粒砂岩为主，厚度较大，总厚度约占全段距的 1/5～2/3，钻孔抽水试验，单位涌水量值一般为 0.2～0.5L/s·m，最大可达 1.0L/s·m（向斜外围荆各庄矿单位涌水量最大达 1.94L/s·m），一般占矿井总水量的 30%左右。最后一个可采煤层（煤 12）的下部，砂岩厚度达 40～60m，钙质和硅质胶结为主，裂隙发育。据钻孔抽水试验资料，单位涌水量值最大可达 0.5～0.7L/s·m （向斜外围荆各庄矿单位涌水量最高达 3L/s·m）。运输巷，即开巷于此含水层中，巷道涌水量一般占矿井总涌水量 70% 左右，各可采煤层之间的砂岩甚薄，以泥质和高岭土胶结为主，砂岩和泥岩、砂质泥岩比值小，钻

孔抽水试验最大单位涌水量均小于 0.2L/s·m，矿井涌水量甚小。

碳酸盐岩的单层厚度越大，对其岩溶发育越有利。因其构造裂隙较发育，一般沿裂隙和层面可以形成较大溶洞；而薄层碳酸盐岩，构成裂隙较小，岩溶发育相对较弱，常沿层面发育溶隙、溶穴。不同类型的碳酸盐岩层常以不同形式组合在一起，构成连续型、夹层型和间互型的岩溶层组，且制约岩溶发育。当灰岩（或粗晶白云岩）所占比例越大时，岩溶层组多为灰岩（或白云岩）连续型，岩性单一，结构均匀，构造裂隙的切层性强，延伸远，有利于地下水循环并不断向深部集中，常发育着区域性隐伏岩溶水带。例如，太行山中段；鲁中南、徐淮等地中奥陶统各组第二段：上寒武统和下寒武统等强岩溶化层均属之。北方石炭二叠纪煤田矿坑底板严重岩溶水突出也属此例。不纯碳酸盐岩与纯碳酸岩间互型。此种情况一般不利于岩溶发育，中奥陶统各组第一段和贾旺层均属此类。但是，由于选择性溶蚀作用与其它条件地制约，因而一些间互型的岩溶层组也有出现强烈溶蚀现象。例如，焦作地区中奥陶统属灰岩与其它岩性间互型（表 2-8），发育了一系列大型溶洞岩溶大泉，中奥陶统灰岩岩溶发育，富水性强，成为太原组薄层灰岩的主要补给水源，矿坑底板水问题严重。

表 2-8 焦作地区中奥陶统岩溶层组类型统计表

地区	地层厚度		非碳酸盐岩		不纯碳酸盐岩		纯碳酸盐岩		石灰岩		
	时代	厚度（m）	累积厚度（m）	厚度比例（%）	累积厚度（m）	厚度比例（%）	累积厚度（m）	厚度比例（%）	累积厚度（m）	厚度比例（%）	层数
焦作	O_2s	253.5	0.00		78.47	30.85	175.03	69.05	122.09	48.15	5
	O_2x	113.2	7.44	6.57	57.73	50.99	48.00	42.43	48.01	42.43	2

地区	石灰岩			云灰岩或灰云岩						岩溶层组类型
	连续厚度（m）			累积厚度（m）	厚度比例（%）	层数	连续厚度（m）			
	一般	最大	最小				一般	最大	最小	
焦作	15.0	63.2	3.7	52.98	20.90	2		42.9	10.1	* Ⅲ—1·n
		34.3	13.9	0.00						* * Ⅲ—n·1

灰岩与不纯碳酸盐岩间互型；
不纯碳酸盐岩与灰岩间互型

三、褶皱及断裂

（一）断裂因素

1. 阻水作用

在矿区外围与内部分布着落差大小不一，断裂性质和力学性质不一的断层，因其两盘接触的岩性、裂隙发育的性质、程度及破碎带的宽度、厚度，充填物性质和胶结程度等不同，而对区域、矿区和井田的基岩地下水运动所起的作用不同。一般有以下几种作用：

（1）阻水作用（即阻水断层）。当断层一盘的含水岩层，地下水流不能以侧向流过断层带，与另一盘的含水岩层发生水力联系时，该断裂具有阻水作用。因断裂带两盘岩性不

同，而其阻水作用分为断盘阻水和断层带阻水。

①断盘阻水。柔性与刚性岩层组成的地层，因错动而使含水岩层与隔水岩层接触，尤其是一盘为灰岩岩溶含水层，一盘为砂泥岩相对隔水层，形成天然挡水墙，在横向上起着阻隔地下水的作用，如果断层走向垂直地下水流方向，则岩溶含水层一盘平行于断裂走向沿断层带则为导水，使一盘形成贮水构造。

②断层带阻水。断裂发育在柔性岩层中，例如，北方早、中侏罗世和二叠纪煤田，煤系中非可溶性岩类，砂岩含水层与泥岩、砂质泥岩、煤层相间成层的岩层中，岩层富水性微弱，在天然状态下，其破碎带往往富含泥质糜棱岩，使断裂带本身具有阻水作用，钻孔抽水试验水量极微弱。

(2）导水作用（导水断层）。可分为侧向导水和垂向导水。

①侧向导水。在自然状态下，断裂一盘含水岩层地下水能够流过断裂带形成侧向径流与另一盘含水岩层发生水力联系。例如，当刚性地层错动，使两盘含水岩层对口接触时，则这种断层具有侧向导水作用。

②垂向导水。在自然状态下是特殊现象。断裂使两盘的含水岩层未发生对口接触，但两者相距较近，在断层破碎带地段，地下水交替运动条件好，在垂直方向上沟通各含水层。

(3）富水作用（富水断层）。在岩溶类充水矿区，由于正断层作用，灰岩岩溶含水层沿断裂带形成次一级断裂与张开性羽毛状节理裂隙，岩溶裂隙极其发育，因而形成岩溶水强径流带。该带又可汇集，甚至袭夺其两侧地下水径流，最后沿着断裂带发育成树枝状强径流带，岩溶水流通道与贮水空间，贮存量与补给量很大，地下水十分丰富。

2. 断裂构造对基岩地下水运动的作用，在矿床水文地质方面的意义

(1）断裂构造是组成矿区水文地质单元的自然边界或分区边界。例如，太行山东麓峰峰、邯郸、邢台、临城矿区，位于河北省邯邢地区西部，分布范围达 6000 多平方公里，开采石炭二叠系煤层，煤系基底为奥陶系石灰岩，在矿区外围山区出露面积约 $1800km^2$。燕山期火成岩在中部侵入奥陶系石灰岩及煤系。区内断裂发育，褶皱次之。断裂发育方向有东西、南北、北西、北东、北北东 5个方向。北北东向是主要构造断裂，断层均以 70° 以上正断层为主，受断裂切割，区内组成大小不一的地堑、地垒型构造或阶梯状断块，断层落差达 500m 以上的大断层，截断煤系基底中奥陶统石灰岩岩溶含水层，在横向上起到阻水作用，组成本区水文地质单元的边界。以区内各大泉群补、径、排条件和断层的阻水作用，将本区划分为四个水文地质单元，西部涉县单元，南部峰峰单元，中部邢台单元，北部临城单元。南、西两单元以长亭涉县大断层为界；中、北两单元以内邱断层为界；中、南两单元以紫山断层为界；而邯邢地区东部水文地质边界以内邱石家庄断层、紫山百泉断层和邯郸断层为界（图 2－14、图 2－15）。

(2）断裂的切割使某些矿区或井田位于地垒或地堑断块内，而断盘的阻水作用，使其处于半封闭一封闭的水文地质单元或断块内，地下水补给水源不足，矿井充水以消耗贮存量为主，水文地质条件相对简单。例如，平顶山矿区位于华北平原西南部边缘，南倚伏牛山、东接黄淮平原，界于沙河与汝河之间低山丘陵地带，矿区南为北西向叶县正断层，北为北西向襄郏一号正断层，西为北东向郏县正断层，落差大于 1000m，形成矿区中间断块隆起，四周为新生界沉积的坳陷带，都有厚达千米的新生界沉积。区域水文地质背景为地

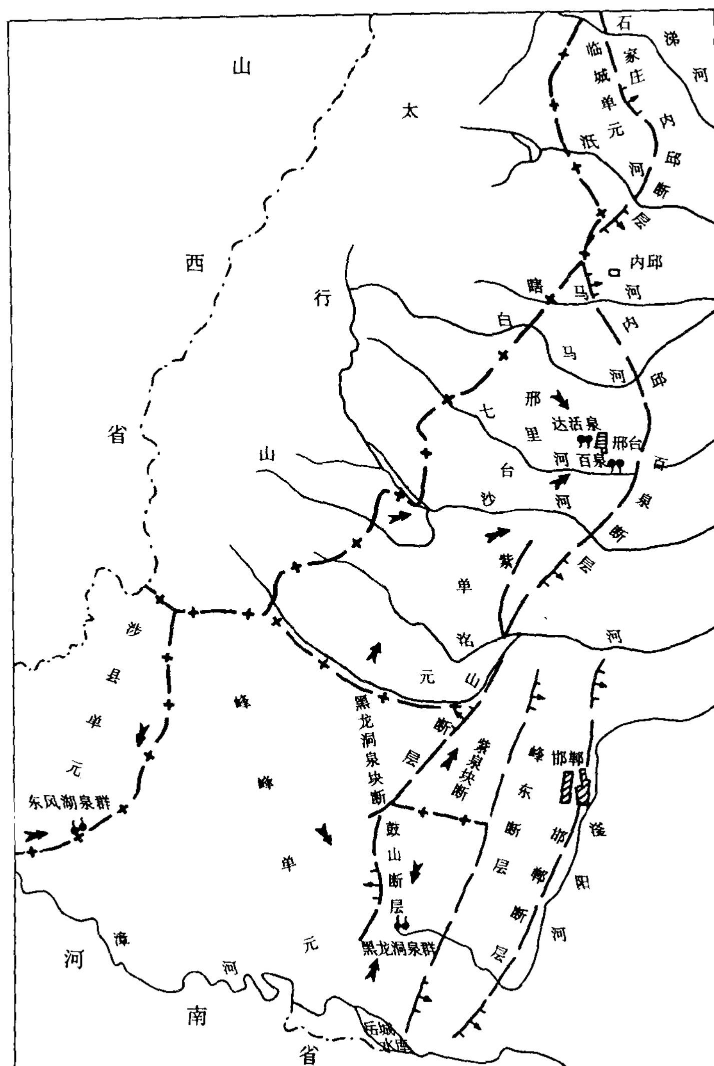


图2-14　邯邢煤矿区水文地质示意图

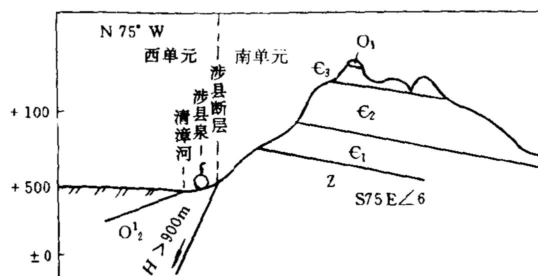


图2-15　南、西两水文地质单元边界剖面示意图

（据张藻）

垒型构造近于封闭的水文地质单元。矿区太原组薄层石灰岩和煤系基底寒武系灰岩，得不到外围侧向补给水源，是以消耗贮存量为主的岩溶充水矿区（图 2－16）。

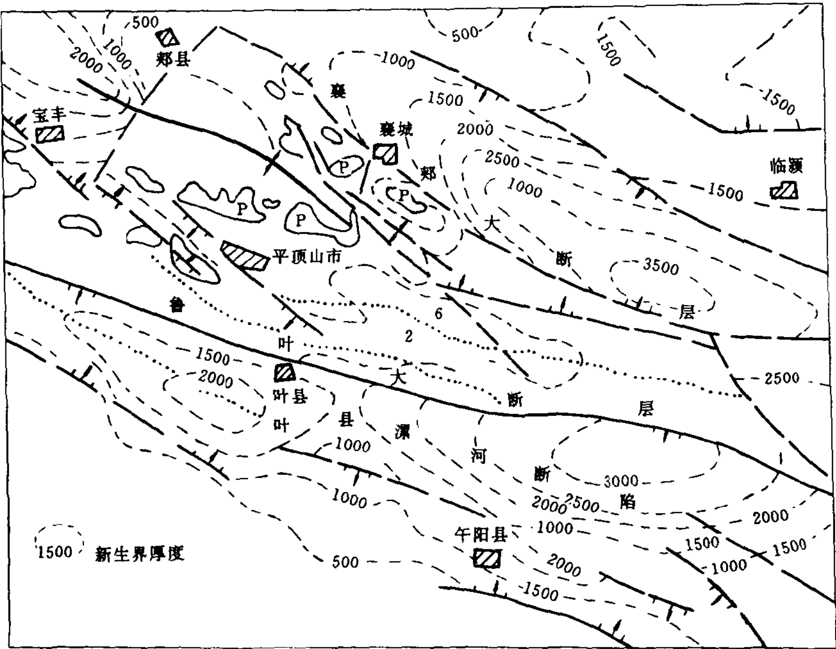


图2－16　平顶山地区地质构造图

临城矿区邵明井田，受到石家庄一内邱大断裂 F_{29} 与邵 F_5 断层切割，使煤系基底中奥陶统石灰岩含水层在北、东、南三面中断，失去水力联系，形成邵明井田为菱形状基本封闭的高矿化度水的承压含水块段，岩溶地下水径流条件缓慢（图 2－17、图 2－18）。

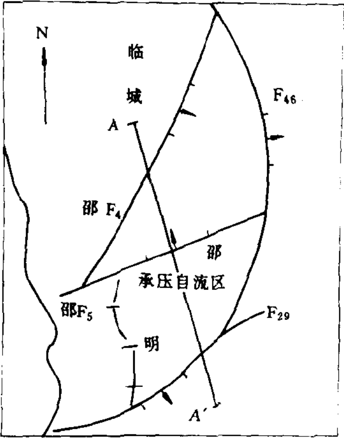


图2－17　断层的组合形成独特的水文亚区
（据徐奋、张藻）

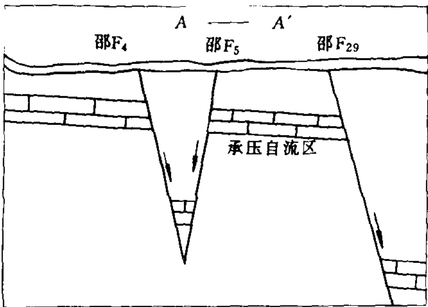


图2－18　剖面示意图

(3) 断裂使矿井地下水进水方式和充水水源发生变化，改变煤田水文地质类型，引起水文地质条件复杂化。例如，湖南渣渡矿区位于湘中涟邵煤田北段，邵阳弧形构造晏家铺含煤向斜的东翼，单斜构造，含煤地层为早石炭世测水煤系，厚度 100～130m，由粉砂岩、细一中粒砂岩及煤层组成。该组下部含煤三层，其中 5 煤层全区发育，为主要可采煤层，弱裂隙含水层，是直接充水含水层。上覆测水组上段泥岩及梓门桥组钙质泥岩、泥灰岩，累计厚度 50～100m，为相对隔水层，隔水性能好；煤层底板为砂质泥岩及石磴子组上部的钙质泥岩、泥灰岩，累计厚度 50～80m，为隔水组（图 2－19）。因此，该区水文地质条件简单，属裂隙含水层充水为主的矿床。例如，矿区南端的利民煤矿，年产原煤 45 万 t，矿坑最大涌水量为 $169m^3/h$，一般为 $50 \sim 100m^3/h$。北端的清塘煤矿等均属此类型。金盘仑断层沿煤层露头附近展布 35km，断距 50～300m，断层面与煤层的产状基本一致，倾角略小于煤层，一般为 15°～25°，矿区内 63～85 勘探线之间受到金盘仑断层切割破坏，沿走向顺层缺失煤层顶板一部分或全部隔水层，使梓门桥灰岩或者壶天灰岩直接覆盖于测水组的下段或煤层之上，把间接充水的壶天灰岩强岩溶含水层与梓门桥灰岩中等岩溶含水层成为直接充水含水层，在上述范围内的百泉、大成坪等煤矿，雨季最大涌水量达 $1322m^3/h$，水文地质条件复杂，属岩溶含水层充水为主的矿床（图 2－20）。又例如，广东曲仁煤田鹧鸪石井田，晚上叠世龙潭煤系，由一套砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层组成，总厚度约 800m，自下而上分为不含煤组（P_2L_1），厚度 119m，以粉砂岩、泥岩为主，为隔

地层	柱状 1∶5000	含、隔水层		
		厚度(m)	名称	特征
栖霞组 P_1q		>50	上隔水组	上部为硅质岩，下部为黔阳段(厚度 35m)，含煤、碎屑岩。相对隔水层
壶天群 C_{2+3}		600～800	壶天群喀斯特含水层	由灰岩、白云质灰岩及白云岩组成，喀斯特发育，富含溶洞，暗河。地下水排泄总量 $0.6 \sim 38m^3/s$
梓门桥组 C_1z		130	梓门桥组喀斯特含水层	由泥质灰岩、灰岩、石膏、泥灰岩组成，含喀斯特裂隙水，富水性中等。泉水一般流量 0.3L/s，单位涌水量 0.002～0.76 L/s·m
		50～100	中隔水组	由梓门桥组底部泥灰岩段及测水组顶部的粉砂岩夹细砂岩组成，隔水性好
测水组 C_1c		100～130	测水组裂隙含水层	由粉砂岩、细～中粒砂岩及煤层组成。5 煤层为主要可采煤层。含弱裂隙水
		50～80	下隔水组	由测水组下部粉砂岩、细砂岩及石磴子组顶部钙质娄砂岩、泥灰岩组成。隔水性良好
石磴子组 C_1s		130～170	石磴子组喀斯特含水层	由灰岩及泥质灰岩组成，含中喀斯特

图 2－19 湖南渣渡矿区水又地质柱状图

水层 丙煤组（P_2L_2）厚度 170～190m，由砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层互层组成；乙煤组(P_2L_3)厚 度 230m，含 煤 24 层，可采煤层 3 层；海相层（P_2L_4）厚度 121m，深灰至灰黑色粉砂质泥岩为隔水层，甲煤组（P_2L_5）厚度 120～140m，含两层主要煤层。各组煤均为裂隙孔隙承压含水层，含水性微弱，是直接充水含水层，经钻孔抽水试验，单位涌水量 q 值 0.09～0.075L/s·m，煤系上覆长兴灰岩为中等的裂隙溶洞承压含水层，钻孔抽水试验，单位涌水量 q 值 0.629～0.0788L/s·m，渗透系数 K 值 9.602～0.525m/d，大冶灰岩为隔水层。晚白垩世南雄群红层，岩性紫红色粉砂岩、砂砾岩为主，在井田北部为含水丰富的溶洞裂隙含水层，钻孔抽水试验单位涌水量 q 值 2.5～4.3L/s·m，渗透系数 K 值 4.2～57m/d。正常条件下，煤系下部不含煤段，上部海相层和大冶灰岩能阻隔煤系底部栖霞灰岩，顶部长兴灰岩和上白垩统砂砾岩岩溶水流入矿坑。水文地质条件简单。属裂隙类充水矿床。构成水文地质条件复杂原因，主要是由于整个龙潭含煤地层被 F_1 区域性逆掩断层推复于上白垩统南雄群“红层”之上，使煤系底部下伏上白垩统砂砾岩承压溶洞裂隙含水层，将来开采煤系下部煤层存在底板突水威胁。

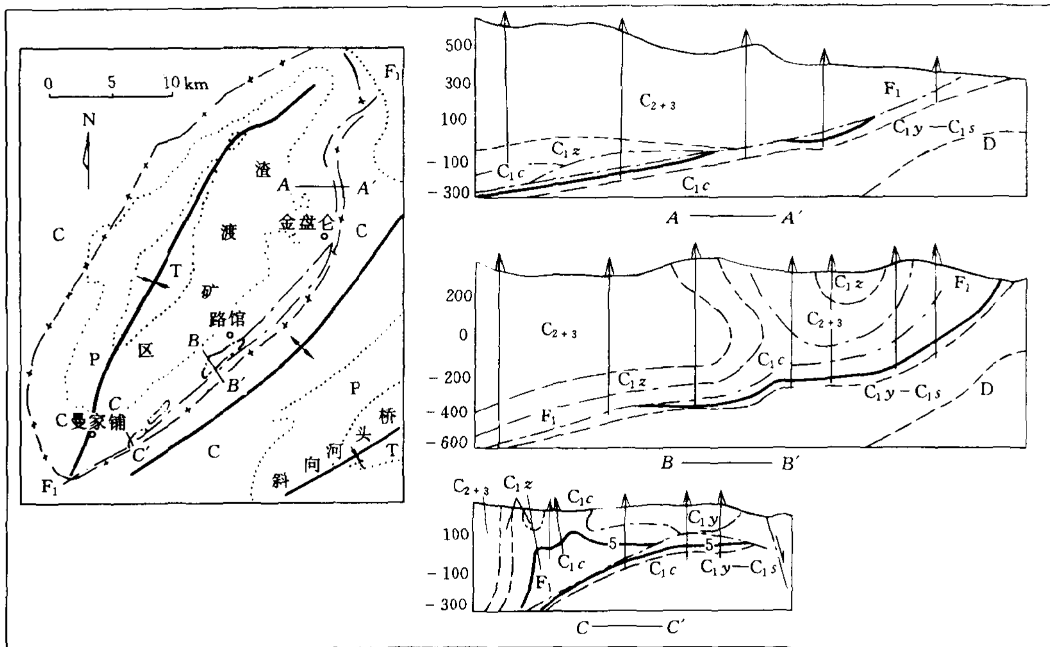


图2-20　湖南渣渡矿区地质和剖面示意图

（4）断裂构造是控制岩溶含水层充水为主的矿床深部岩溶的发育和分布的重要因素。其表现在以下二方面：一方面是断裂构造带附近，各种应力集中，岩石破碎，裂隙发育，易于地下水流对裂隙的溶蚀，断层带岩溶发育程度显著增强，见溶洞率高，甚至沿断裂带的两侧形成条带状溶洞溶蚀带。例如，湖南谭家山煤矿 F_4 与 F_{12} 断层带均可见到数十米的溶洞带，在Ⅲ井 F_4 断层旁侧的灰岩中，见到断续长 40m 的溶洞带，涌水量 0.24～0.48万 m^3/d。根据河南焦作矿务局资料，太原组八灰、二灰和中奥陶统灰岩在断层带附近常被溶蚀成蜂窝状溶洞或一些较大的溶洞。例如，演马庄井田 5-2 孔和演注 6 孔，二灰分

别见 7.95m 和 8.08m 深的溶洞。凤凰岭断层 814 孔和朱村断层 A9 孔中奥陶统灰岩分别见 1.3m、0.74m、0.93m、0.90m 深的溶洞，钻孔抽水试验单位涌水量 q 值大于 15L/s·m。另一方面，断裂构造带附近岩溶发育的结果，扩大地下水贮存空间，加快地下水运移速度，为水沿着构造断裂带不断向深部流动和岩溶向深部发育创造了条件。根据太原、邢台、峰峰地区煤矿勘探资料，断裂带的裂隙岩溶发育深度比其它地区的要深，一般深度 450～650m，最深者可达 700m 以上。近年来，对广西合山煤田深部岩溶的发育特征和形成条件的研究结果，合山煤田下二叠统茅口灰岩深部岩溶发育强度，发育方向与构造造成的岩石破坏程度，断裂构造的发育方向密切相关，其深部岩溶是古岩溶在断裂构造有利的条件与新岩溶叠加发育的结果，亦充分说明了断裂构造对深部岩溶发育的控制作用。

(5) 断裂构造带构成岩溶含水层充水为主的矿区底板突水的通道，控制着突水点位置在空间的展布。断裂构造降低了煤层底板隔水层的强度，沿构造破坏的薄弱带、底板承压含水层水很容易突入矿坑。据统计，北方石炭二叠纪煤田的矿区底板突水与断层有着密切的关系，绝大部分突水都发生在断裂构造带附近。突水点主要分布在断裂密集带，大断层附近的入字型小断层两侧，断层交叉处和二条较大断层相互对扭的扭张破碎部位（图 2－21）。

(二)褶皱因素

褶皱构造对煤田水文地质条件的影响，主要是：

1. 区域褶皱构造控制煤田含水岩层的分布范围，地下水天然资源量和调蓄功能

北方地区因中朝准地台的相对稳定性，而形成许多开阔与宽缓的褶皱，这一构造背景控制了华北石炭二叠纪的聚煤古地理背景，聚煤盆地面积大，煤系基底寒武一奥陶系灰岩受构造控制形成大型蓄水构造。中奥陶统石灰岩在煤系外围广泛出露，分布面积大，接受大气降水和地表水流的补给，为天然资源量丰富，贮存量大、调蓄功能强的裂隙岩溶含水层。

据河南焦作矿务局资料统计，矿坑排水量， 50 年代为 $40m^3/min$，到 1985 年增大为 $523m^3/min$。其中，煤层底板太原统的八灰、二灰及中奥陶统灰岩岩溶水占 70%。中奥陶统灰岩也是八灰、二灰地下水的主要补给水源，其地下水位， 1952 年由 105m 下降到 85m，共下降 20m，平均年水位下降速率为 0.625m，降雨量，50 年代年平均 826mm，1984年年平均 662.35mm （表 2－9)，1987 年雨季后，在矿区排水影响范围内，中奥陶统灰岩地下水普遍上升。由此可见，焦作矿区中奥陶统灰岩水位下降，不完全是因矿井排水量的增大而引起的，还反映了其调蓄功能强的特征。

表 2－9　焦作矿区矿井排水量、降雨量与中奥灰水位关系表

动态状况	年　代 (年)	年平均降水量 (mm)	平均排水量 (m^3/s)	水　位 (m)
第一阶段	1952～1964	826.10	1.501	105
第二阶段	1965～1977	711.87	4.964	91
第三阶段	1978～1984	662.53	9.939	85

南方地区位于粤、闽、赣、浙和台湾五省苏皖二省南部及鄂、湘、桂三省（自治区）东部，区内褶皱、断裂很强裂，往往形成一系列紧闭的小的褶皱，早石炭世，早、晚二叠

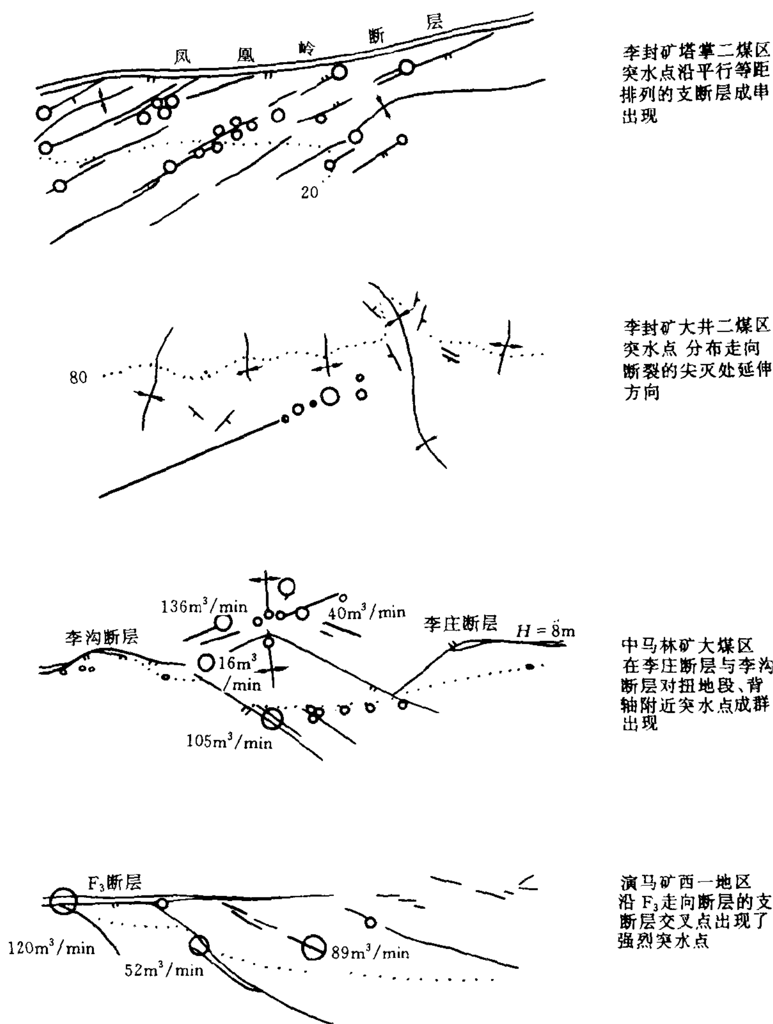


图 2-21 矿区 突水点分布类型图

(据夏镛华)

世、晚三叠一侏罗世煤盆地面积小，煤层顶底板长兴、茅口、栖霞和黄龙灰岩环绕着煤系分布，灰岩出露面积不大，很少有超过几十平方公里的，形成一些规模较小的蓄水构造，虽然区内降水量大，地表水系发育，河水与茅口灰岩、栖霞灰岩水力联系密切，补给条件好，但是灰岩含水层天然流量和贮存量小，调蓄功能远比北方中奥陶统石灰岩来得弱。例如，在湖南煤炭坝矿区的 $21km^2$ 含煤盆地，茅口灰岩内地下水贮存量有限， 60 年代初期开始疏排茅口灰岩地下水，自 1963 年 8 月，全矿当时涌水量为 $1470m^3/h$，距矿区 5.7km 的上洋泉湖泉水即将疏干，到 1978 年时，全矿涌水量增加到 $8110m^3/h$，地表水不断补给地下水，矿井涌水量则逐年增加，疏排水量主要靠疏排降落漏斗迅速扩展，扩大排水影响范围获得，其结果是地下水每年以 5～7m 速率下降，地面泉水先后断流，大面积出现塌陷（表 2-10）。

表2-10　煤炭坝矿区逐年疏排茅口灰岩水量与水位下降影响面积关系表

项目＼年别	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
总涌水量 (m^3/h)	4140	6683	6800	6834	6755	7268	8312	7826	8110
每年水位下降 (m)	3.34	14.44	14.03	6.46	6.76	6.57	7.66	5.69	5.82
每年排水影响面积（km^2）	19	23	37	17	18	17	20	15	15

2. 次级褶皱构造影响煤田含水岩层裂隙和岩溶分布

褶皱以其岩层弯曲变形破坏导致岩层产生大量的节理裂隙，在背斜轴部，倾伏端、向斜转折和收敛端，引张应力集中，产生大量张性构造裂隙，是裂隙和岩溶发育区，往往为地下水富集区和强径流通道，井下巷道掘进在裂隙和岩溶含水层中这些部位，就会有水流入巷道增加矿井涌水量，甚至造成水害事故。例如，邯郸地区西部某矿区，钻孔揭露裂隙溶洞率在背斜轴部达 10%，大于远离背斜轴部和向斜轴部 3～4倍（图 2-22)。

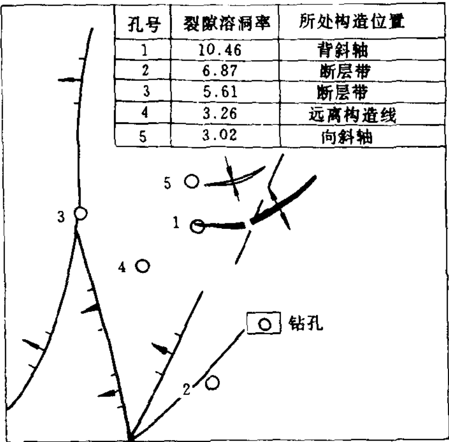


图2-22　某矿区地下岩溶与构造关系示意图

(据张藻)

北票矿区冠山一号竖井，由 -60m 水平往下掘进到 -155m 标高，井筒位于地层褶曲轴部，因褶曲作用，而使煤系底部坚硬的兴隆沟火山岩系产生了大量张性构造裂隙，富集大量地下水。当井筒工作面接近时，高压水突破十号煤层底板薄层泥岩，将井圈压垮，发生突水，造成淹井，涌水量为 $180m^3/h$，影响半径达 1200m。

徐庄矿区庞庄、权台和夹河矿，开采下石盒子煤组，在背斜轴、倾伏端发生顶板砂岩突水，最大突水量 $188m^3/h$（图 2-23)。

广西合山煤田马鞍矿，近东西向的轨道下山和人行下山巷道穿北东向的褶皱带时，共遇到 4个突水点，均位于背斜的轴部，小的涌水量为 $60m^3/h$，大的涌水量达 $929m^3/h$（图 2-24)。

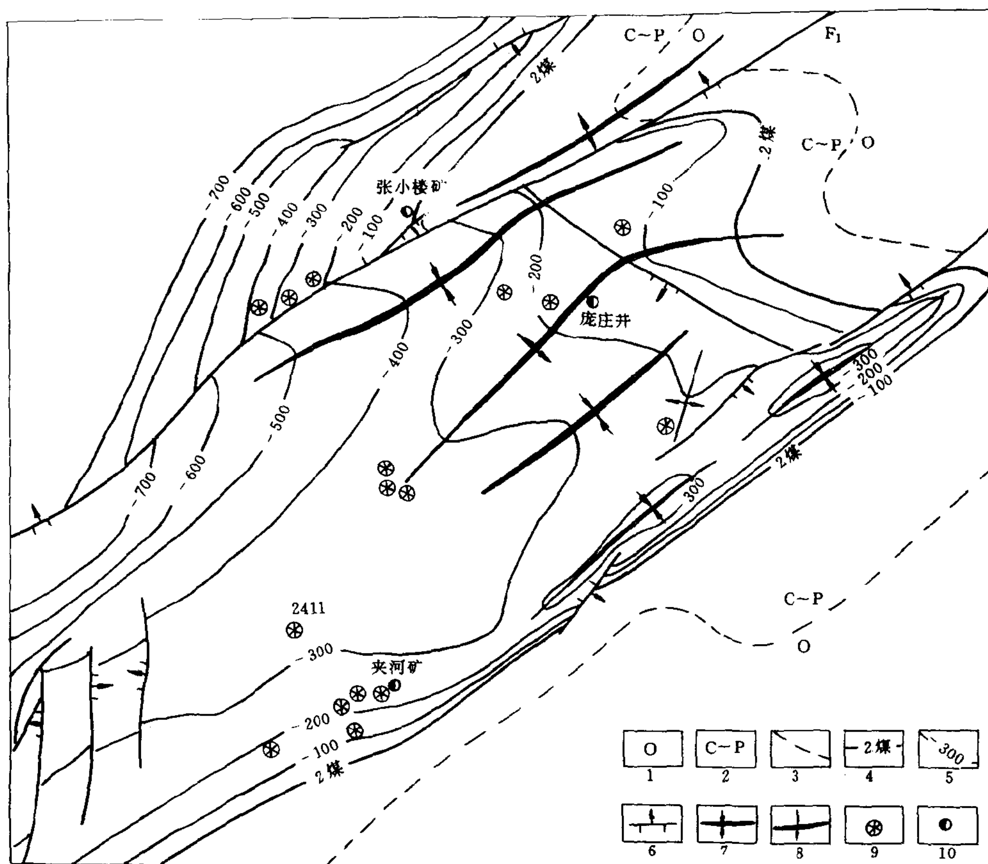


图2-23　夹河、庞庄、张小楼矿下石盒子组煤层开采突水点与构造关系图

1-奥陶系；2-石炭二叠系；3-假整合地层界线；4-2煤露头线；
5-2煤等高线；6-断层；7-向斜；8-背斜；9-突水点；10-矿井名称

四、煤层赋存条件

煤层赋存条件是指主要煤层的赋存深度。在其它地质条件相同时，煤层赋存浅，风化强烈，煤层顶底板以及煤层上部和下部岩层岩心破碎为块状，较松散，因浅部接受大气降雨与地表水流补给条件好，地下水交替循环条件通畅，因此，风化裂隙和岩溶裂隙发育，随着深度增加，风化作用逐渐减弱，地层压力加大，张裂隙变得稀少，裂隙率降低，地下水交替循环条件变差，泄水不畅，裂隙容易被充填，裂隙和岩溶发育程度减弱，富水性变弱。裂隙和岩溶发育程度和含水性存在着垂直分带这一特征，已在我国各时代煤田的煤矿区勘探和矿井水文地质实际资料中得到证实。

煤系裂隙含水层随深度增加，富水性减弱，一般可以划分为两个含水带：风化裂隙含水带和弱裂隙含水带（表 2-11）、（图 2-25）。

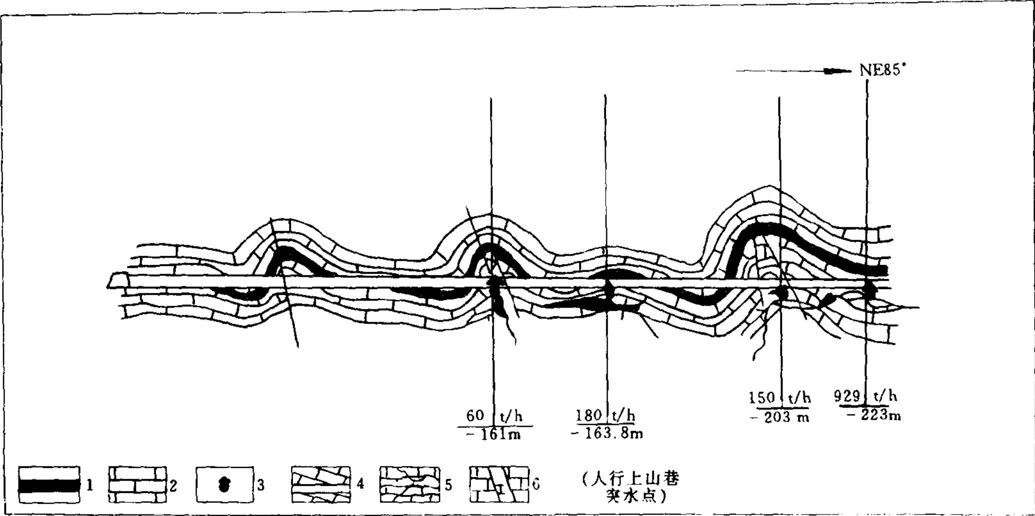


图2-24 深部岩溶沿小褶曲发育剖面示意图

(马鞍山矿轨道上山巷，据广西 150 煤田地质勘探队)

1-煤层；2-灰岩；3-井下突水点；4-巷道；5-岩溶；6-与褶曲伴生的小断裂

表2-11 东荣、集贤矿区煤系裂隙含水层富水性随深度变化关系

含煤时代	矿区名称	矿井名称	煤系裂隙含水层							
			风化裂隙含水带				弱裂隙含水带			
			厚度(m)	q (L/s·m)	K (m/d)	漏水孔(%)	厚度(m)	q (l/s·m)	K (m/d)	漏水孔(%)
早中侏罗世	东荣	一、三井	50～150	0.00098～1.141	0.00395～18.04	70～74	>100	0.0028～0.0398	0.004～0.291	26～29
	集贤	集贤	80～130	0.1225～1.523	0.214～3.684	94		0.0096	0.0353	

风化裂隙含水带，此带裂隙发育，钻孔常见漏水、富水性强，垂直循环条件好，井下揭露发生突水现象，水量大，递减较慢，疏干时间长。

弱裂隙含水带，裂隙不甚发育，钻孔很少漏水，富水性与渗透性减弱。

两个含水带的界面深度，在东北早中侏罗世煤田中，一般在煤系基岩面下 150～100m，在贵州晚二叠世煤田盘县矿区矿井水来源于基岩上部风化带裂隙水，基岩裂隙风化带深度一般在垂深 70～80m。个别地段达 100～120m。垂深在 120m 以下一般无水。在皖南石炭二叠纪煤田，潘集矿区一般在新生界与基岩介面以下 110～170m。

坑道与井筒在煤系中掘进，涌水量随着深度的增加而逐渐减少。例如，黑龙江省集贤煤矿主井井筒涌水量随着井筒的延深逐渐减少。深度在 120m 处涌水量 $82m^3/h$，延深到 251m 涌水量减至 $8m^3/h$，延深到 287m 涌水量仅 $4m^3/h$（图 2-26）。

徐州矿区下石盒子组煤层采煤工作面顶板砂岩突水，在 -100m 水平以上，突水量达

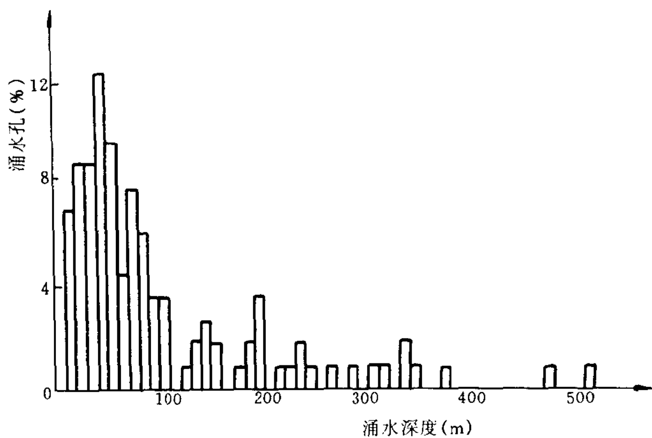


图 2-25 东荣三井涌水孔百分数与侏罗系涌水深度
(剥去第三、四系)关系直方图
(据一○四勘探队)

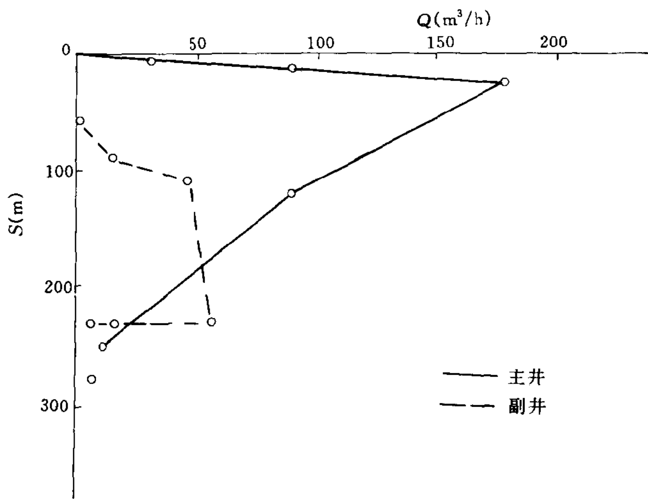


图 2-26 集贤煤矿井 $Q=f(s)$ 曲线图

600m^3/h；-100～350m **水平，突水量达** 200～260m^3/h **；大于** -350m **水平，突水量达** 50～154m^3/h **(表** 2-12)。

潘集矿区潘一主副井、风井掘进深度在 316.70～335.63m **以上，煤系砂岩裂隙含水层曾出现过** 4 **次较大涌水，**335.63m **以下，没有发生过涌水。**

贵州盘县煤田盘关向斜火铺矿井，开采水平高，涌水量大，单位面积含水率高；开采水平低，涌水量小（图 2-27)。

裂隙岩溶含水层随着埋藏深度增大，岩溶发育程度、富水性减弱的关系，已被北方和南方岩溶充水矿区大量勘探资料证实。例如，北方石炭二叠纪煤田，煤系基底奥陶系灰岩

深部岩溶垂向发育程度，随着深度的增加而逐渐减弱，垂向上具强、中、弱、极弱分带的共同规律（表 2－13）。

表 2－12 徐州矿区下石盒子组煤层采煤工作面顶板砂岩水突水情况

矿井名称	突水地点		开采上、下限标高（m）	突水时间（年．月．日）	最大突水量（m^3/h）
	采　区	工作面名称			
新庄	南翼采区	205	－65	1960.4.9	600
	南翼采区	211	－100	1961.9.29	600
夹河	西一采区	203	－134～－171	1970.10.9	190
	西一采区	204	－139～－180	1970.11.6	200
张小楼	西翼采区	2216	－238～－239	1979.6.28	263
庞庄	中央采区	256	－299～－347	1981.10	188
旗山	北一采区	1101	－395～－430	1978.6.26	120
权台	东二采区	3139	－380～－430	1983.10.20	47
	东一采区	3113	－365～－394	1980.4.8	80
	东一采区	3115	－389～－455	1981	154

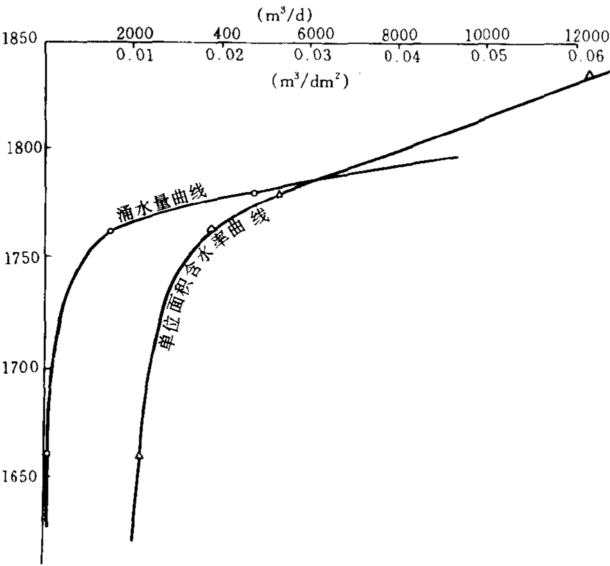


图2－27　火铺矿斜井涌水量与开采水平关系图

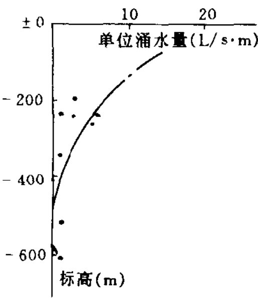


图 2－28　峰峰矿区涌水量与深度关系

表 2-13　中国北方深部岩溶垂向分带对比表

地区		渭北东部	太原兰村晋祠	阳泉娘子关	井陉威州	潞安辛安	临城十股	焦作	峰峰黑龙洞	邢台百泉	枣庄	淮北	徐州
排泄基准面（m）		+200	+810 | +803	+360	+160	+640	+75	+95	+130	+60	+40	+60	
岩溶垂向分带标高（m）	强岩溶带	+280 +100	+803 +550	+360 +260	+160 ±0	+640 +500	+75 -100	+95 -200	+130 ±0	+60 -200	+10 -125	+40 -200	-140 以上
	中等岩溶带	+100 -50	+550 +250	+200 -100	±0 -150	+500 +300	-100 -300	-200 -400	±0 -300	-200 -400	-125 -200	-200 -400	-140 -310
	弱岩溶带	-50 -100	+250 -100		-150 以下	+300 +100	-300 -500	-400 -600	-300 -650	-400 -750	-200 以下	-400 -600	-310 以下
	极弱岩溶带	-100 以下	-100 以下	-100 以下		+100 以下	-500 以下	-600 以下	-650 以下	-750 以下		-600 以下	

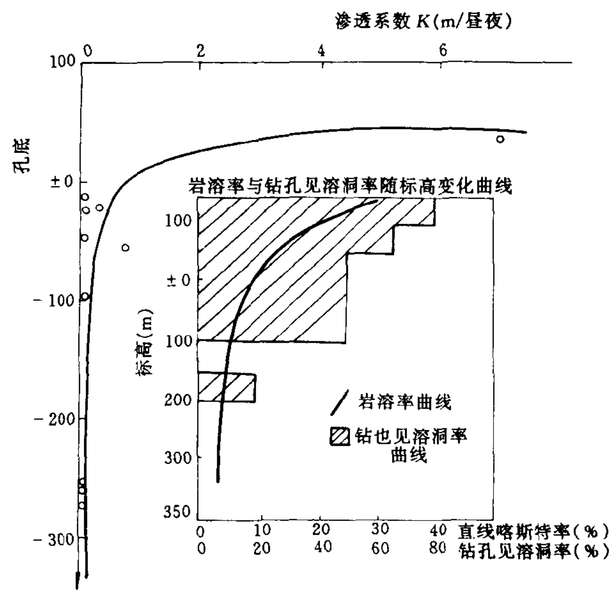


图 2-29　茅口阶与香泉山灰岩段渗透系数与溶洞裂隙随深度变化曲线

在峰峰矿区，根据地面钻孔抽、注水和井下放水钻孔的单位涌水量与埋深标高间关系，说明富水性随灰岩埋深而显著减弱（图 2－28），是与峰峰地区深部岩溶垂向分带相吻合的。湖南上二叠统煤田，斗笠山矿区茅口灰岩与栖霞灰岩组香泉山段灰岩渗透系数与溶洞裂隙随深度增加逐渐减弱的关系也十分明显（图 2－29）。

应该指出：不能根据岩溶发育程度、富水性与埋深的关系而得出开发北方石炭二叠纪煤田深部煤层，其受岩溶水害威胁程度会减少的看法。因为随着煤层赋存深部增加，煤层顶底板含水层水压增大，弹性释放水量大，往往形成突水时来势猛，瞬时水量大，在很短时间内可能造成淹井事故。特别是在“东陷西隆”的华北断块特定的地质环境的宏观控制下，使可溶岩体埋藏在不同断块不同深度部位，埋深达几百至几千米。由于长期在地下水动力和水文地球化学，尤其是混合溶蚀的作用下，对原先形成的地下岩溶进行改造，因而可产生各种宏观与微观的不同高程、不同形态的深部岩溶而赋存着地下水。要开发受岩溶水威胁矿区的深部煤层，必须进行深部岩溶发育机理和地下水赋存运移条件的研究。

第二节　自然地理因素

一、气候

气候对煤田水文地质条件的控制，主要表现在降水量与蒸发量的大小上。降水是地下水的主要补给来源，也是矿坑水的主要补给来源之一，大多数煤矿矿坑涌水量大小与降水有直接关系。一般来讲，在矿床水文地质勘探类型相似条件下，分布在我国潮湿多雨的南方煤矿较干旱的北方煤矿矿坑涌水量要大些，与大气降水关系密切。例如，北方陕西、甘肃、宁夏等干旱省份，区内分布着中生代早、中侏罗世煤田，属裂隙含水层充水为主的矿床，浅部生产矿井涌水量一般 10～50m^3/h，因降水量少，浅部矿井雨季涌水量增加不大。南方湘南、滇中、黔西、川南、闽西南和闽中区晚二叠统和晚三叠统裂隙含水层充水为主的煤田，矿井涌水量雨季比枯季一般增大 2～4 倍，有些矿区可达到十几倍，例如，滇东恩洪矿区，黔西六盘水、织金纳雍等矿区。年降水量大，矿井涌水量也较大，例如，湘南地区，年平均降水量 1400～1500mm，矿井涌水量一般 100m^3/h 左右。

大气降水影响矿井涌水量变化，除降水量本身因素（降水大小、降水性质和延续时间）外，还决定于以下因素：

（1）直接充水含水层埋藏条件。其埋藏条件不同，降水对含水层的补给形式及补给程度也不同。浅部矿井直接充水含水层出露于地表或第四系覆盖层薄时，矿井涌水量随降水量的大小而明显地变化，枯、雨季矿坑月平均降水量一般相差数倍，最大可达数十倍。而随着直接充水含水层埋深加大或第四系覆盖层的增厚，大气降水对含水层地下水的补给程度减弱，因此深部矿井或巨厚新生界覆盖的全隐蔽煤田的矿井涌水量总的看来与降水大小关系不大。例如，峰峰矿区 6 对矿井，开采 －100～－400m 水平，根据 1974～1985 年矿井涌水量和降水量的观测资料表明，两者间关系是不明显的（表 2－14）。矿井水来自煤系砂岩与薄层灰岩水，其补给水源主要来自中奥陶统灰岩水，而中奥陶统灰岩自身接受大气降水补给区，远在矿区外围太行山区。

表 2-14　峰峰矿区各矿矿井年平均涌水量统计表

年份 \ 涌水量 (m³/min) \ 矿井名称	二矿	四矿	五矿	羊渠河矿	通二矿	王凤矿	降水量 (mm)
1974	20.57	3.69	12.29	7.46	16.27	12.81	478.62
1975	19.80	4.55	13.60	7.09	16.11	14.90	603.60
1976	20.75	4.30	16.14	7.26	17.97	20.11	700.70
1977	18.29	5.51	16.13	8.09	16.04	19.66	508.10
1978	23.14	7.35	16.84	7.83	17.63	21.23	382.90
1979	23.53	8.16	18.80	5.31	16.12	19.16	373.00
1980	35.75	10.02	20.30	5.60	19.52	24.30	436.90
1981	29.42	9.02	21.10	5.37	21.85	42.41	319.00
1982	40.12	10.46	22.18	6.65	27.89	54.98	715.60
1983	52.55	9.67	21.59	6.83	26.30	54.67	504.90
1984	67.30	9.44	22.18	9.63	30.56	41.54	593.70
1985	77.25	7.66	21.87	9.58	27.60	41.66	
开采水平（m）	-250	-100	-125	-400	-170		

（2）直接充水含水层岩性。含水层岩性不同，接受降水补给能力也不同。一般来讲，岩溶含水层充水为主的矿床，在雨季矿井涌水量增加幅度远较裂隙含水层充水为主矿床来得大，特别是暴雨后，矿井涌水量猛增，往往发生淹井事故。例如，四川晚二叠世煤田，以岩溶含水层充水为主的松藻矿区松藻一井，平硐采煤（硐口标高333.10m），茅口灰岩为煤层底板直接充水含水层，矿井充水与降水关系密切，1983 年至 1985 年观测资料，枯、雨季矿坑月平均涌水量 60.95～928.74m^3/h，最大涌水量达 3530m^3/h（图 2-30）。贵州晚二叠世煤田，以裂隙含水层充水为主的六枝矿区凉水井矿、地宗矿、六枝矿，1969 年至1974年观测资料，枯、雨季矿坑涌水量 1.21～268m^3/h，最大涌水量达 248m^3/h（图 2-31）。

二、地貌

地貌对煤田水文地质条件控制，主要表现在不同地貌单元内，煤矿区地下水的补、径、排条件，矿井充水条件和充水通道不同，矿坑涌水量及其稳定程度也不同。

（一）位于山地分水岭及斜坡地带的煤田

川、黔、滇东晚二叠、三叠世煤田的煤矿区，多数位于该类地貌单元内。其特点是：区域地质历史背景为长期强烈上升，形成褶皱山地与单面山地貌景观，大多数矿区煤层位于当地侵蚀基准面以上，煤系与基底岩层裸露，地形坡度陡，相对高差达百余 m 至数百米，一般不利于大气降水入渗补给，有利于地表水的自然排泄，地表径流强烈，河谷纵横切割甚剧，往往将山区切割成大小不等的山间地块，形成地表水以山顶为分水岭、河谷为排泄的水文网，岩溶发育，含水介质为溶洞、溶道与暗河，矿坑涌水量动态变化受大气降水控制，雨季时水量可比旱季增长几十倍至几百倍。例如，川东地区的华蓥山、天府、南

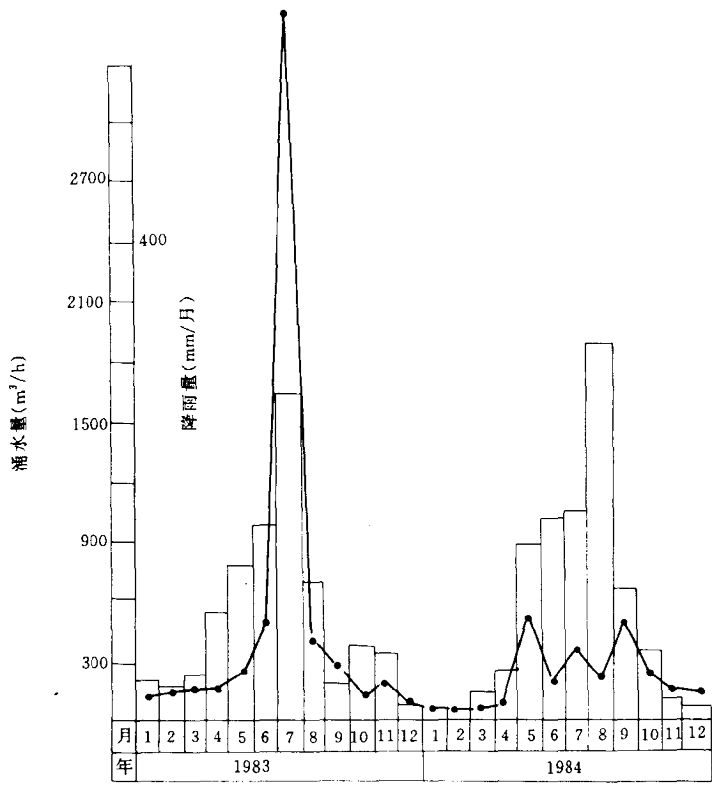


图2－30　涌水量与降雨量关系曲线图

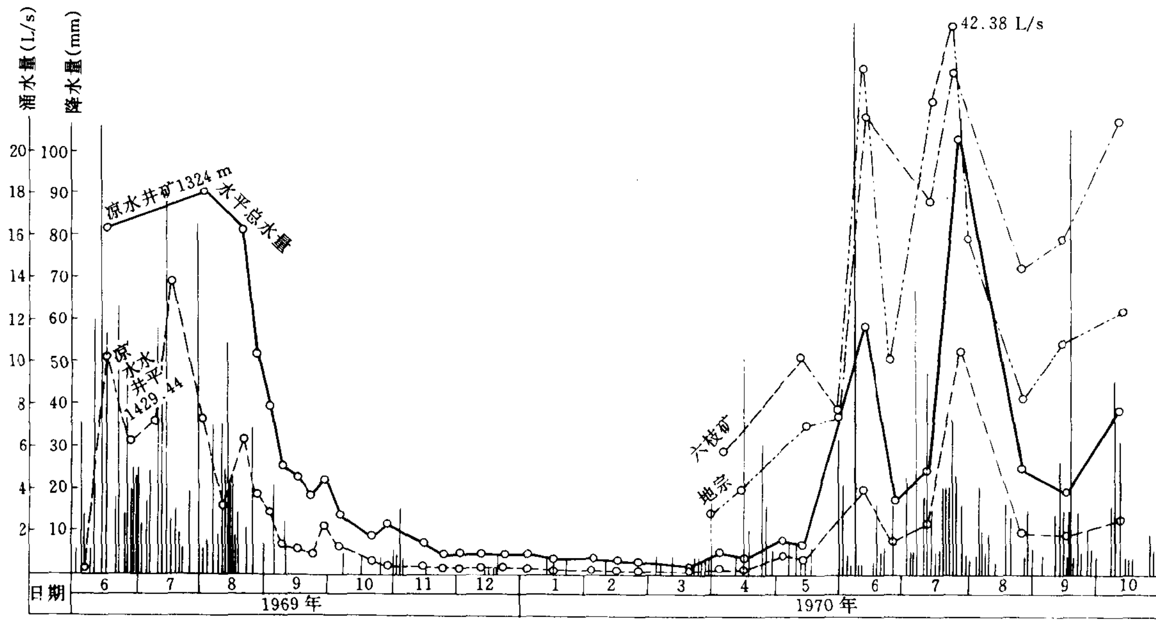


图 2－31　六枝矿区凉水井矿、地宗矿、六枝矿 三个矿 井涌水量与降雨量关系曲线图

桐、松藻等岩溶含水层充水为主矿区，位于四川盆地东南缘与云贵高原之间山地斜坡地带，由于地壳不断上升，侵蚀基准面不断下切，河流沟谷切割甚剧，区内多有横向沟谷横切山脉。矿区主要分布在隆起褶曲——华蓥山背斜与次一级褶皱带上。煤层一般处于当地侵蚀基准面以上，顶板长兴灰岩和底板茅口灰岩多位于背斜轴部或两翼，大面积出露，形成高耸山脊，接受大气降水补给，岩溶发育具有明显的垂直分带性，由于地质构造复杂，张性断裂和裂隙发育，多有溶斗、溶道、暗河发育。本区年降水量 1000～1700mm，多集中在 5～9 月，大气降水通过地表溶蚀洼地、溶斗，大量渗入暗河溶道，雨季暴雨后，常发生暗河溶道突水，突水具有水势凶猛，水量大，含泥沙量，滞后期短，消退快等特点，往往造成灾难性后果（表 2－15）。

表 2－15　矿井暗河管道突水情况表

矿区名称	矿井名称	当地侵蚀基准面标高(m)	突水情况		
			巷道水平(m)	突水量($10^4m^3/h$)	淹井情况
南桐	红岩煤矿丛林矿段	+595	+370 运输大巷		揭穿茅口灰岩，岩溶管道使海孜和马达洞暗河水溃入矿坑
		+595	+540 南总回风巷	2.8	一次暴雨量达 142mm 后，暗河管道水位高涨，突水淹井，从管道中冲入矿坑砂砾约 $8270m^3$
	鱼田堡	+325	+294	0.052	在底板灰岩中，有暗河数条，暴雨后，岩溶管道内水位上升引起淹井
	一　井	+310	+300 通风井	1	在底板灰岩中，有暗河数条，揭露岩溶管道，沟通河水引起淹井
天府	三汇坝一矿	+350	+465	0.2	在底板灰岩中，有 2～3 条管道，暴雨后引起突水，带入大量泥沙堵塞巷道 30 余米

（二）位于山前倾斜平原区的煤田

位于该类地貌单元内的煤田，其特点主要是：山区基岩裸露，直接吸收大气降水和汇集地表水下渗，形成地下水流，在山前侧向补给冲洪积砂砾层。山前煤系分布区被冲洪积扇松散沉积物覆盖，其厚度几十米至几百米，近山麓冲洪积扇顶部主要为粗颗粒砂砾，卵石层夹粘土透镜体，地下水位埋藏深，大量吸收大气降水和地表洪水渗漏以及山区基岩地下水侧向补给，形成了补给水源丰沛、富水性强的孔隙潜水含水层，覆盖在煤系之上，对矿区地下水的贮集、补给、径流和排泄都起着重要作用，在煤层回采过程中，为顶底板直接充水含水层的补给水源，矿床地下水补给条件好，矿坑涌水量动态变化平稳。例如，焦作煤田位于太行山南段弧形拐拆处的山前倾斜平原区内，山区广泛出露寒武奥陶系碳酸盐岩层，厚度达千米，为太行山岩溶水补给区，山前为典型的冲洪积堆积区，下伏石岩二叠纪煤系，冲积洪积扇宽度 3.5～11km，由砂砾、粗砂与粘土等松散岩层组成，在冲积扇上部砂砾层占冲洪积地层厚度的 60%～80%，两个冲积扇之间地带则以粘土类为主，在冲洪积层底部砂砾含水层与下伏煤层顶底板含水层露头接触地带，孔隙水和基岩裂隙水、岩溶水有密切水力联系，形成矿井充水强补给进水边界。例如，演马庄矿浅部煤层露头为含水砂砾层覆盖，含水砂砾层与奥陶系石灰岩及石炭系薄层灰岩含水层发生水力联系，三者

水位趋于一致，矿井排水后，在这一带水位保持高水头，致使演马庄矿 20 多年来矿井涌水量一直保持在 $30\sim120m^3/min$（图 2－32）

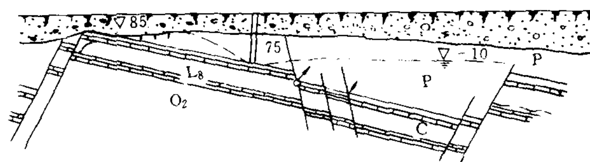


图2－32　演马矿强补给边界示意图

（三）位于冲积平原区的煤田

黄淮海平原区石炭二叠纪煤田位于该类地貌单元内。其特点主要是：区内地形平坦、有地表河流，煤系之上覆盖着巨厚新生界阻隔煤系与大气降水及地表水的直接联系，矿床地下水补给条件不良、泄水不畅、交替缓慢、矿井涌水量一般初期较大，而后逐渐减少，地下水位不断下降，反映出以消耗贮存量为主，地下水补给量有限。新生界下部含水层在某些地段直接覆盖在基岩面之上，它和浅部基岩风化带，煤层上覆和下伏含水层发生水力联系，成为煤层顶底板直接充水含水层的补给水源，也是沟通煤层上覆与下伏含水层地下水向煤层顶板砂岩含水层补给的通道。例如，淮南煤田潘集一号矿 －380m 西一采区总回风道 11－2 煤层，顶板砂岩出水和东一综产工作面顶板破坏裂隙出水，均证实其水源为新生界下部含水层组水。

三、地表水（含河流、湖泊、水库等）

当煤系分布范围内或靠近煤层露头有河流流过，甚至切割煤层露头，或者在煤层浅部区分布着湖泊、水库时，它们往往成为矿坑经常或突然涌水的来源，煤田水文地质条件在一定程度上将变得复杂。

（一）构成矿井充水含水层的主要补给水源

1. 煤系上覆松散层地下水的补给水源

这种情况出现在河谷区内的矿井，煤层赋存在当地侵蚀基准面以下，煤系之上覆盖着第四系松散层。大气降水、河水和第四纪松散层地下水三者之间有密切水力联系，是矿井水主要补给水源。例如，黑龙江省鹤岗矿区兴安矿位于河谷区，煤层赋存在当地侵蚀基准面以下，侏罗纪煤系之上普遍覆盖着第四纪含水砂层，在矿区西部有大、小鹤立河流过，新改道的小鹤河直接切割七至九层煤露头，河流正常流量为 $1\sim2m^3/s$，最大洪水量达 $240m^3/s$（1960 年），小鹤河水通过补给第四纪冲积层潜水和基岩裂隙水而间接向矿井充水，给生产带来了很大危害，仅在兴安矿建井初期就发生过较大的突水 4 次。

2. 煤系基底碳酸盐岩岩溶水的补给水源

主要出现在北方石炭二叠纪煤田和南方晚二叠世煤田岩溶含水层为主充水矿区，煤系基底中奥陶统石灰岩和下二叠统茅口灰岩，在矿区煤系外围广泛出露，组成中低山区与丘陵低山区，其面积小者几平方公里，大者达千余平方公里，地表水系发育，在灰岩中，发育溶隙、溶洞，在川东一带，煤矿区发育岩溶通道和暗河。灰岩接受大气降水和地表水渗漏补给转化为岩溶水而流经矿区，成为煤层下伏高压岩溶含水层地下水，其中地表水渗漏

补给量是岩溶水天然资源量的主要组成部分之一，甚至占岩溶水天然资源总量的 30%～40%。例如，陕西省渭北煤田属底板进水为主、岩溶含水层充水为主的煤矿区，含煤地层为石炭二叠系，太原组下组煤层主采层为 5.10 或 11 号煤占总储量的 50%～60%，受中奥陶统灰岩水威胁。蒲白、澄合、韩城 3 个矿区排水量 2937m^3/h，其中排岩溶水 1412.8m^3/h。全区奥陶系灰岩裸露面积仅 321.21km^2，按近 20 年（1971～1990）年平均降水量 563mm 计算，接受大气降水下渗补给水量 1.50m^3/s，裸露区加上浅埋藏区、深埋藏区合计面积 4581km^2，补给水量约 3.4175m^3/s。而区内流经矿区及边缘大小河流计 18 条（图 2－33），分属黄河、渭河水系。黄河流经煤田东部，在禹门口以上河段穿过奥陶系灰岩约 7km，并深切奥灰岩百余米，黄河水与韩城地区奥灰岩地下水有着密切水力联系，在平时排泄本区奥陶系灰岩地下水，雨季则补给地下水，其它 17 条大小河流在流经灰岩地段均有渗漏现象，据实际观测资料漏失量为 1.7245m^3/s（表 2－16）。耀县挑曲坡水库 1975 年 10 月 7 日曾发生严重漏水，漏失量最大达 20m^3/s。使下游的奥灰岩水位升高 5m 左右，后库底虽经处理至今仍有 0.289m^3/s 漏失量，区内地表水漏失量共计 2.013m^3/s 占全区岩溶水天然资源总量的 38%，由此可见，虽然灰岩裸露面积仅 321.21km^2，但是，今后开发矿区太原组下组煤层时，仍存在着岩溶水害问题。

表 2－16　渭北煤田河流流经灰岩段漏失量情况表

合耀单元		韩城单元	
河流名称	漏失量 (m^3/s)	河流名称	漏失量 (m^3/s)
清峪河*	0.065	错开河	0.1562
漆水河*	0.125	涧　河	0.0006
沮　河*	0.261	白矾河	0.0076
白水河*	0.154	西原河	0.0060
洛　河*	0.620	盘　河	0.023
王家河*	0.029	文家岭河	0.00315
县西河*	0.168	涺水河	0.0664
金水沟*	0.037	柳庄河	0.0006
		轨水河	0.00205
合　计	1.459	合　计	0.2656
总　计	1.7245m^3/s		

* 表示实际观测资料。

（二）通过塌陷洞直接灌入矿井

这种情况主要发生在南方岩溶含水层充水为主的煤矿区，区内地表水系发育，由于矿井长期大量排水，地下水位降低到河水位以下，且在河床及河段产生了大量塌陷洞，因而造成河水直接大量灌入矿井。例如，湖南湘中晚二叠世煤矿，为底板进水为主的岩溶含水层充水为主煤矿床，地形上呈一小型盆地，区内地表水系发育，主要河流有涟水河，小碧河和壶天河，为长年性河流，其切割茅口及香泉山灰岩含水层的长度分别为 5820m、

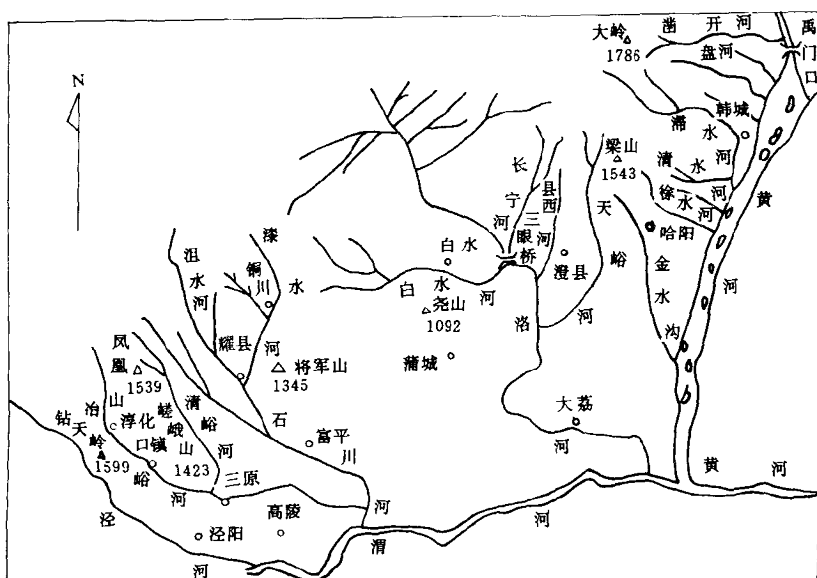


图2-33　渭北煤田水系

1300m，流量分别为 2.1～102m³/s，0.5～64.77m³/s 和 0.08～51.57m³/s。在天然条件下，区内泉水通过沟谷注入 3 条河流排走，并有泉出露于河床乃至河谷。在矿井长期排水后，在切割含水层的河谷及河谷地段，地表发生严重塌陷，河水及河谷潜水大量灌入地下，补给矿井水，矿井涌水主要来自壶天河、木杉河河床的倒灌。据 1985 年资料，该 3 条河流年总倒灌量为 2334.49×10⁴m³（即 2665m³/h），占矿井总涌水量（4084.34×10⁴m³）的 57%，特别是 1977 年 4 月 10 日井田东北部木杉河（5000m³/h）水量从河床塌陷洞全部灌入地下，同一天壶天河石山嘴至光家桥长 600m 的河床，河床倒灌量约 2100m³/h，仅相距木杉河灌水处 1400m 的二号井 4 小时左右涌水量由 1000m³/h 猛增到 2520m³/h，河水灌入矿坑的速度约 460m³/h。

地表水对矿坑充水影响程度决定于地表水体的性质和大小，地表水与煤层顶底板和覆盖层充水含水层之间的水力联系程度，矿区地形及煤层上覆和下伏岩层的岩石透水性。例如，常年性的河流、湖泊和水库，可造成矿井充水强度大而稳定，对矿井充水危害程度严重。季节性河流、小溪、冲沟等将给矿坑充水造成季节性变化，当煤矿分布于低洼地区时，煤层顶底板充水岩层岩溶裂隙发育，地表水将大量流入坑道。

第三节　普通水文地质因素

一、含水层与隔水层的特征

(一)含水层特征

含水层特征系指在煤层开采过程中向矿坑充水的直接与间接充水含水层的岩性、厚

度、岩石成因类型、结构、含水空间形态、导水性和富水性等。正如第一节岩性及地层组合部分已叙述的，不同岩类的含水层因其岩性不同，发育着不同的含水空间形态，则地下水赋存与运移条件，储水和导水能力大小，富水性及其不均匀性均有很大差别，而同一岩类的含水层因其厚度、埋藏条件和岩层组合形式或结构不同，含水空间形态，地下水赋存条件和富水性亦有区别。因此含水层特征不同，相应地煤田水文地质类型及其复杂程度也就不同，在采掘过程流入坑道水量差别很大，对水文地质勘探手段选择、工程量布置及防治水措施均有很大的影响。

煤田四种岩类含水层，一般来讲，碳酸盐岩类含水层储水与导水能力以及富水性较其它三种岩类含水层强，故对矿井充水强度大，煤田水文地质条件复杂。例如，我国主要大水煤矿区除开滦矿区（属巨厚松散层覆盖下的裂隙充水煤田），元宝山露天煤矿（属孔隙充水煤田）外，几乎均为岩溶充水煤田。

由于间接充水含水层与直接充水含水层有水力联系，但只能通过直接充水含水层向矿井充水的含水层。它是直接充水含水层的补水源。依据这些特征，可以划分出四种水力联系基本类型。即

(1) 直接充水含水层强，间接充水含水层强型　矿井涌水量大而较稳定。如焦作、峰峰、开滦、合山等煤田。

(2) 直接充水含水层强、间接充水含水层弱型　矿井涌水量初期大，随着开采面积扩大涌水量逐渐或很快减少。如大雁煤田。

(3) 直接充水含水层弱，间接充水含水层强型　矿井涌水量中等至弱，随着开采面积扩大和开采水平加深，涌水量会逐步增大而趋于稳定。

(4) 直接充水含水层弱，间接充水含水层弱型　矿井涌水量小，随着开采面积扩大和开采水平加深，涌水量不会有明显增加，如我国北方早、中侏罗世煤田。

(二)隔水层特征

隔水层特征系指在煤层开采过程中能阻隔地表水和直接或间接将充水含水层的水流入矿井或能大大减弱流入矿井水量的岩层，其岩性、厚度、分布和力学强度等特征。

1. 煤系隔水层

煤系一般是各种粒度砂岩、泥岩、砂质泥岩、煤和灰岩等组成。其中隔水层主要是泥岩、砂质泥岩，从力学属性来看属粘塑性岩石，力学强度低，岩石受力后发生塑性变形，当应力超过弹性极限后，发生破裂，破裂方式主要以粘性剪断为主，产生隐蔽裂隙和闭合裂隙，即使发育张裂隙，但裂隙中往往充填了自身破碎的泥质碎屑物，因此，这类岩石的含水性和导水性一般很弱，能起阻水作用。在采煤过程中，隔水层起阻隔或减弱地下水流入矿井作用，除了与岩性和力学性质有关外，还和隔水层厚度、分布、距煤层间距及其与含水层组合特征有关。阻隔含水层一般有以下几种形式：

(1) 厚层泥岩、砂质泥岩、致密的粉砂岩隔水层分布在开采煤层冒落带顶部，其上部为中粗粒砂岩含水层（图 2-34)。这种情况下，该隔水层将起着阻隔砂岩含水层水流入矿井的作用。这是因为该隔水层是位于导水裂隙带下部范围内，泥岩及其上部砂岩因受煤层回采顶板冒落的影响，而发生下沉形成张断裂隙，其上部砂岩含水层即沿着泥岩中的裂隙渗透而流向矿井，但是在砂岩水渗透过程中，泥岩体积将发生体积膨胀，使裂隙闭合，因而阻隔了砂岩含水层中水。

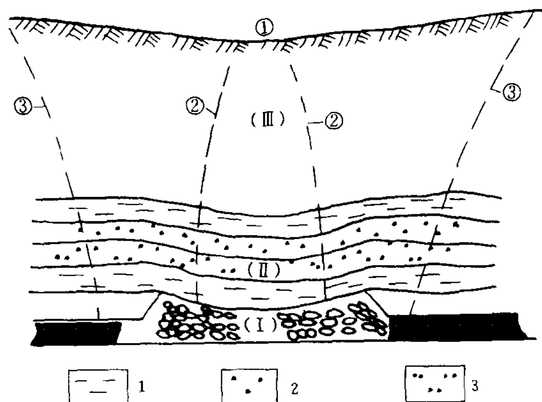


图2－34　隔水层阻水示意图

Ⅰ－冒落带；Ⅱ－裂隙带；Ⅲ－弯曲下沉带

①－地表塌陷区；②－岩层开始移动边界线；③－岩层移动稳定边界线

1－泥岩；2－粗砂岩；3　中砂岩

(2) 泥岩、砂质泥岩和致密的粉砂岩互层分布在开采煤层与其下部承压含水层之间，其厚度足以抵抗煤层开采时采动矿压自上而下的破坏和下部承压含水层的水头压力自下而上的破坏时，亦即其总强度足以抵抗矿压与水压的共同作用时，则该隔水层将起到阻隔承压含水层水突然涌出流入矿井的作用。

(3) 泥岩、砂质泥岩、致密的粉砂岩和含水层呈互层状或层间分布，隔水层在垂向上对含水层地下水起到较好的阻隔作用，在自然状态下，含水层只是在浅部能获得大气降水和第四系松散层水补给，大大减弱含水层在深部流入矿井水量。例如，开滦矿区煤系各含水层间有良好的隔水层（煤层、泥岩、沉积凝灰岩以及致密的粉砂岩），天然状态下，煤系各含水层在上游露头处接受新生界底部含水层的补给，主要沿层间流动，又在下游露头处排泄给新生界底部含水层，因此矿井涌水量主要来自新生界底部的卵砾石含水层。

2. 新生界隔水层

新生界是由各种粒径砂、砂砾石、粘土和砂质粘土等组成。其中隔水层主要是粘土、砂质粘土，从力学属性来看属粘性土，是良好的隔水层，其阻隔地面水和含水层地下水程度与岩石力学性质、厚度和分布有关。厚层粘土层，分布稳定，塑性指数高，则隔水性良好。隔水层阻隔地面水和含水层地下水一般有以下几种形式：

(1) 厚层粘土层、砂质粘土层分布于新生界底部，覆盖在煤系之上，阻隔新生界砂砾含水层与地表水与煤系基岩含水层发生水力联系（图2－35）。

(2) 厚层粘土和砂质粘土层与砂层、砂砾层互层而成层分布，其分布稳定，将新生界含水砂层、砂砾层划分为几个含水层组，阻隔各含水层组间水力联系，造成下部含水层组补给条件差。

二、含水层、隔水层与煤层的组合关系

含水层、隔水层与煤层的组合关系是指含水层、隔水层与煤层间相互位置和接触关

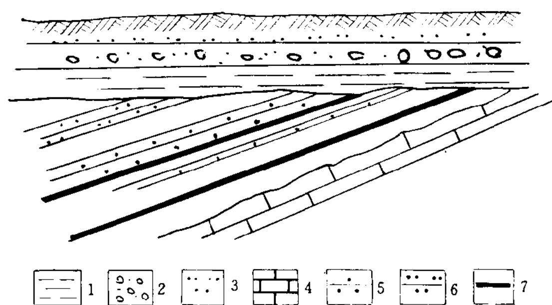


图2－35　隔水层阻水示意图

1－粘土；2－砂砾层；3－中砂；4－石灰岩；5－粗砂岩；6－中砂岩；7－煤

系。

(一)含水层与煤层相互位置

1．当含水层位于煤层底板以下时，组成底板充水煤矿床

矿床地下水补给区在矿区外围，地下水径流途径较长，水压较高，进水途径除了直接揭露涌水外，主要通过断层密集地带或交错尖灭处，隔水层薄弱地带、采空露顶面积过大地区，突水涌入矿井。属于此类矿床一般为岩溶充水煤矿床，有华北石炭二叠纪煤矿区与早侏罗世芋县煤矿区，鄂西南早二叠世松宜、蒲圻、长阳矿区，鄂南、湘中、粤北、川东、桂中和贵州晚二叠世黄石七约矿区，涟邵、连阳、华蓥山、天府南桐、松藻、合山和扎佐矿区，粤北三叠一侏罗纪南岭矿区。

2．当含水层位于煤层顶板以上时，组成顶板充水煤矿床

矿床地下水补给区，除了在煤层地段和地表分水岭汇水范围内，接受大气降水垂直渗漏补给外，其余主要通过煤层露头区风化裂隙带与老窑塌陷区垂直渗透补给和在断层对口部位接受煤层上覆与下伏含水层的侧向补给。进水途径，在开拓回采过程中顶板直接涌水、淋水，主要在顶板冒裂带范围内含水层地下水流入矿坑，属于此类矿床的，如南方赣中丰城和赣东乐平晚二叠统岩溶含水层充水为主的煤矿区，滇东、黔西、川南，闽西南、闽中区；湘南区晚二叠统裂隙含水层充水为主的煤矿区，主要是恩洪、来宾、后所、庆云、圭山、六枝、盘城、水城、织金一纳雍、筠连、龙（岩）—永（定），天湖山、永安一加福、清（流）—连（城）、上京、两市塘、牛马司、洪山殿、白沙、永来、湘永、华塘、马田、袁家、梅田、街洞等矿区；北方中生代下、中侏罗统裂隙含水层充水为主的煤田，主要是彬长、焦坪、黄陵、榆神府、大同、鹤岗、鸡西、双鸭山、勃利、东胜、大雁、阵旗、伊敏、北票等矿区。

(二)含水层与煤层接触关系

1．当含水层顶板与煤层底板直接接触或含水层顶板与煤层底板间分布有隔水层，其厚度小于含水层水的压力和采矿对底板破坏的高度，以及含水层底板的承压水沿含水层顶板的构造裂隙导升高度之和时

此时，组成底板直接充水煤矿床，属于此类矿床，一般为岩溶充水煤矿区，以各矿区最底部主采煤层的水害条件而言，主要包括：峰峰、鹤壁、开滦、霍县、蒲白、澄合、京

西、轩岗等石炭二叠系煤矿区，南方二叠系和三叠侏罗系岩溶充水煤矿区。

2. 当巨厚碳酸盐岩含水层与煤层底板间分布有隔水层，其厚度大于含水层水的压力与采矿两者对底板的破坏高度和含水层底板的承压水沿含水层顶板的构造裂隙导升高度之和时

此时，隔水层内有一至数层薄至中厚层碳酸盐岩，组成底板间接充水煤矿床，属于此类矿床有焦作、淄博、肥城、淮北、淮南、平顶山等石炭二叠系煤矿区。

3. 当含水层底板与煤层顶板直接接触或隔水层底板与煤层顶板以上冒裂带顶面间距内分布有含水层与隔水层呈间互层时

此时，组成顶板直接充水煤矿床，两者不同之处是，前者在采煤开拓掘进或回采中顶板直接涌水、淋水方式流入矿井；后者在煤层回采后，顶板来压在冒裂带范围内，含水层地下水通过垂直渗漏或涌水方式流入矿井。

由上述可知，含水层、隔水层与煤层组合关系是控制矿井充水方式与充水途径的主要因素。因此，三者之间相对位置与接触关系不同，矿井充水方式与进水途径发生变化，煤矿床水文地质勘探类型也就不同，相应地煤田水文地质条件有差异，水文地质勘探方法有所区别。

三、含水层的边界条件

含水层是地下水储存和运动的场所，赋存于含水层孔隙、裂隙和岩溶介质中的地下水运动，除了需要在它下面岩层是一个相对隔水的岩层来把重力水托住，使其占有一定的空间体积外，还有外部的不断补给和排泄，使之发生运动，否则运动就会停止，补给与排泄对地下水运移起着明显的控制作用。

所谓含水层的边界条件，即是指含水层、透水层与隔水层相互组合构成的地下水天然与人工流场中含水层在垂向和水平方向边界的补给与排泄条件。

煤矿床水文地质学研究含水层的边界条件，主要是研究开采煤层的直接充水含水层边界条件。在矿床充水因素分析中，常将直接充水含水层边界条件分为两类：一类为补给边界，另一类为隔水边界。

(一)补给边界

按直接充水含水层获得补给水源的方式不同，有以下几种：

1. 垂直下渗边界

(1) 直接充水含水层出露于地表时，接受大气降水与地表水体垂直下渗补给。分布于分水岭斜坡地带和山地丘陵区，煤系与上覆基岩裸露地表，直接充水含水层的补给边界主要以这类边界为主。例如，湖南省晚二叠世龙潭组郴来煤田永来矿区，构造上为向斜含煤盆地，区内地形标高一般为 80～300m ，属低山丘陵，第四系厚度为 0～17m，龙潭组上段砂岩为开采煤层直接充水含水层，在向斜两翼出露，区内周家坳、觉光寺、沈家湾、高台下、爱和山和白鸡洞等 6 个矿井的含煤段砂岩含水层地下水向矿坑充水主要补给水源是大气降水，通过煤系浅部风化裂隙带和采煤后形成的塌陷裂隙区和老窑通道进入矿区（图 2－36）.

北方石炭二叠纪煤矿区，底板直接充水含水层，中奥陶统石灰岩，与南方晚二叠世煤矿区，底板直接充水含水层，茅口灰岩，在矿区外围山地丘陵区广泛出露，得到大气降水

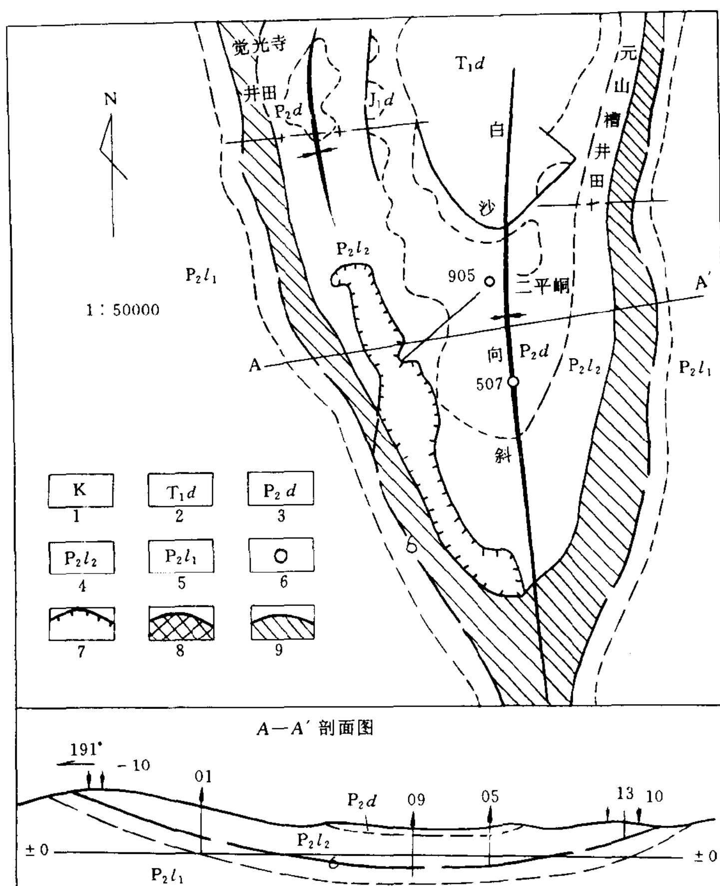


图 2－36　周家坳井田补给边界示意图

1－白垩系；2－大冶组；3－大隆组；4－龙潭组上段；5－龙潭组下段；6－抽水钻孔；7－可采区；8－不可采区；9　老窑区

及地表水集中垂直下渗补给（图 2－37）。

(2) 直接充水含水层隐伏于巨厚新生界之下时，将会接受新生界底部含水层孔隙水垂直下渗补给。分布于太行山东麓、南麓，燕山南麓等地冲积洪积倾斜平原与辽河冲积平原，黄、淮、海冲积平原区石炭二叠系煤矿区常具有这类边界。例如，淮南潘谢矿区新生界总厚度达 160～500m，可分为上、中、下 3 个含水组，其中有稳定的隔水粘土层隔开，有效地隔离了大气降水、地表水及上、中部含水组地下水对煤系地下水补给，下部含水组直接覆盖在煤系上，煤层露头浅部基岩面是下部含水组水垂直下渗补给煤系砂岩、太原组灰岩直接充水含水层的边界。还有焦作、开滦、淮南、兖州、大屯等煤矿区亦具有这类边界（图 2－38）。

(3) 直接充水含水层被第四纪松散含水层覆盖，接受其地下水与地表水下渗补给。分布于河谷冲积平原区与丘陵区煤矿区往往具有这类边界，例如，黑龙江省东部中生代侏罗系煤田鹤岗、兴安台，双鸭山的四方台、鸡西和福建省二叠系某些矿井等煤矿，浅部煤系

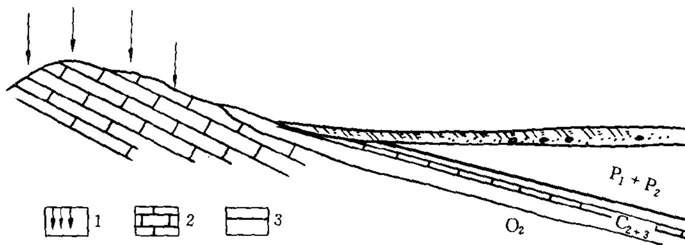


图 2－37　北方石炭二叠系煤矿区中奥陶灰岩含水层垂直下渗边界示意图

1－大气降水下渗；2－灰岩；3－煤

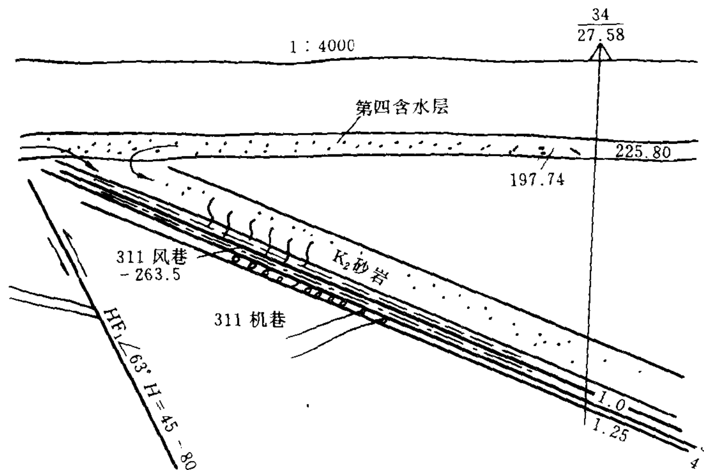


图 2－38　淮南某矿区第四纪底部松散含水层进入二作面示意图

风化裂隙带含水层、第四系松散含水层和地表水三者有密切水力联系，第四系松散含水层地下水是矿井水的补给源，又是地表水向矿井充水的通道（图 2－39）。

2.侧向径流补给边界

（1）直接充水含水层因断裂切割作用和开采煤层下伏基岩含水层在断层两盘对口部位接受基岩含水层地下水侧向径流补给。凡是煤系下伏基岩含水层为富水性强，补给量大的含水层，则开采煤层的直接充水含水层往往具有这类补给边界。例如，北方石炭二叠系岩溶充水煤矿区开采二叠系山西组和太原组煤层以及南方上二叠统岩溶充水煤矿区开采龙潭组煤，常在断层两盘对口部位以侧向径流补给煤系直接充水含水层（图 2－40）。

（2）直接充水含水层位于浅部基岩风化带范围内，接受基岩含水层地下水侧向径流补给。例如，当煤系出露于背斜隆起两翼，呈单斜式构造，煤层下伏为基岩含水层，在煤层浅部露头带附近基岩风化带范围内，煤层上部与下部含水层有水力联系条件下，煤层顶板直接充水含水层接受煤层下伏含水层侧向径流补给（图 2－41）。

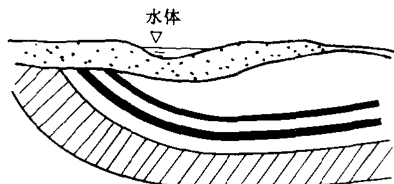


图 2－39　福建省二叠系煤矿区垂直下渗边界典型示意图
（取自福建省煤田地质公司资料）

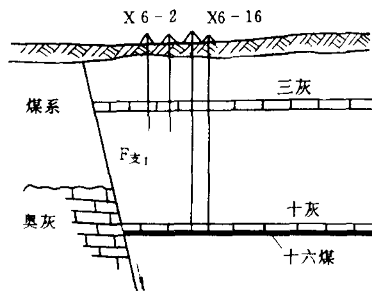


图 2－40　山东济宁煤田一区太原组十灰侧向径流补给边界示意图

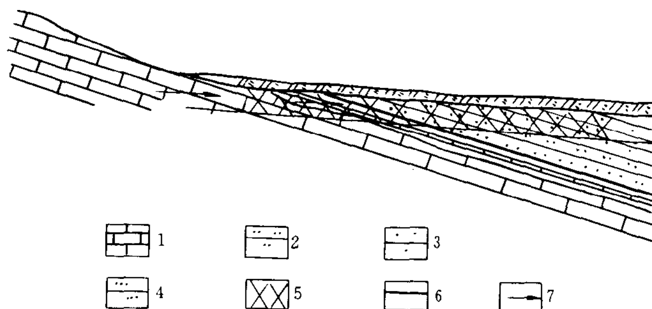


图2－41　基岩风化带内煤层顶板直接充水含水层侧向径流补给边界示意图
1－石灰岩；2－中砂岩；3－粗砂岩；4－细砂岩；5－基岩风化带；6－煤层；7－地下水流向

3. 顶托越流补给边界

（1）直接充水含水层与下伏基岩承压含水层之间，岩层是隔水层并隐伏于新生界同一孔隙含水层之下，当煤层上部直接充水含水层向矿井充水，水头降低后，孔隙含水层水垂直下渗，其水头随着而变动，则下伏基岩承压含水层地下水，则顶托越流补给孔隙含水层而成为煤层上部直接充水含水层的间接补给水源，分布于山前冲洪积倾斜平原与冲积平原区北方石炭二叠系煤矿区，开采二叠系山西组或石炭系太原组煤层的直接充水含水层具有这类补给边界（图 2－42）。

（2）直接充水含水层在断层交叉带与大断层两盘低次序小断层密集带部位向矿井充水，水头降低后，由于断层交叉带与密集带的破碎带宽度较大，裂隙发育，透水性好，沿破碎带接受下伏基岩承压含水层地下水的顶托越流补给。

（二）隔水边界

按直接充水含水层地下水补给或地下水流受阻部位不同，有以下几种：

1. 顶部隔水边界

直接充水含水层隐伏于新生界粘土隔水层之下时，阻隔大气降水、地表水体和新生界粘土隔水层之下时，阻隔大气降水、地表水体和新生界孔隙含水层地下水垂直渗漏补给。

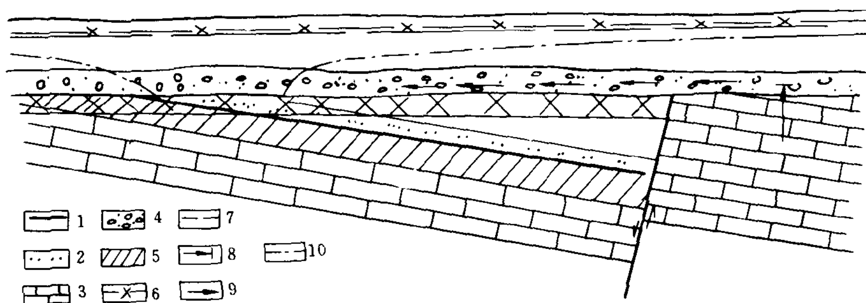


图2－42　煤层下伏基岩含水层水顶托越流补给孔隙含水层示意图

1－煤层；2－煤层上覆直接充水含水层；3－煤岩下伏基岩含水层；4－孔隙含水层；5－隔水层；
6－基岩含水层水位；7－孔隙含水层水位；8－基岩含水层水顶托补给；
9－基岩含水层水通过孔隙含水层流入矿井；10－孔隙含水层水位

凡是被新生界覆盖下的煤矿区常具有这类边界，例如，黑龙江省东部煤田双鸭山七星矿，鸡西穆棱煤矿、集贤矿，扎赉诺尔灵泉露天矿及河南新郑矿区等第四纪下部粘土隔水层直接沉积在基岩面上，构成了煤系顶部隔水边界（图2－43）。

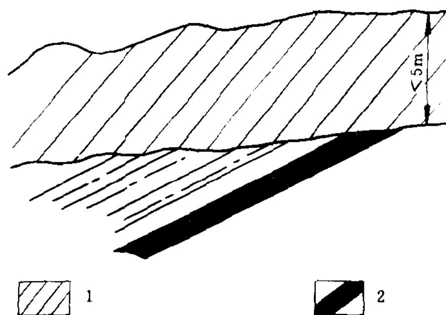


图2－43　双鸭山矿务局七星矿煤系顶部隔水边界示意图

1－第四纪粘土类沉积物；2－煤

2　侧向隔水边界

（1）直接充水含水层因断裂切割作用而和断层一盘砂泥岩相对隔水层或富含泥质糜棱岩破碎带接触，断盘或断层带构成直接充水含水层侧向隔水边界。

（2）直接充水含水层的富水性顺地层倾斜方向随埋藏深度增加而逐渐减弱，以致达到某一深度后逐渐变为相对隔水层，成为侧向隔水边界。例如，黑龙江省东部侏罗系裂隙充水煤矿区，煤系直接充水含水层由浅部往深部可划分为3带：风化裂隙含水带、亚风化裂隙含水带和弱裂隙含水带。煤系风化带与亚风化带含水性相差2.8～82.6倍，弱裂隙风化带富水性极弱，成为深部侧向隔水边界，矿井开拓至该带，矿坑涌水量不再增加。

（3）直接充水含水层顺倾斜方向在其两侧与花岗岩、闪长岩等深成侵入体接触或岩脉

（包括岩墙）接触，起截阻地下水流作用，成为侧向隔水边界。沿着接触带富水性强。

（三）补给边界与隔水边界基本组合方式

直接充水含水层的补给边界与隔水边界组合方式，是控制矿区水文地质单元的开启程度，评价矿区富水程度与矿井涌水量变化趋势的主要因素，对指导矿床水文地质勘探，选择矿井涌水量计算方法、建立水文地质数学模式和计算水量的精度均有很大影响。其基本组合方式有以下几种。

（1）直接充水含水层四周或三面是隔水边界，顶部为新生界底部含水层孔隙水垂直渗漏补给边界。具有这类组合边界的矿区，直接充水含水层地下水接受侧向区域基岩地下水补给条件十分差，新生界底部含水组地下水的补给和矿区基岩地下水通过煤层底部含水组越流补给是主要补给途径，矿区内部由于断裂作用，使得直接充水含水层得到上覆与下伏基岩含水层地下水的侧向补给，矿区处于近于封闭的水文地质单元内，形成以储存量为主的矿床，矿坑涌水量在长期疏排条件下，涌水量将逐渐减少，地下水位将不断下降。大屯矿区属于这类边界组合最有代表性的矿区（图 2－44）。

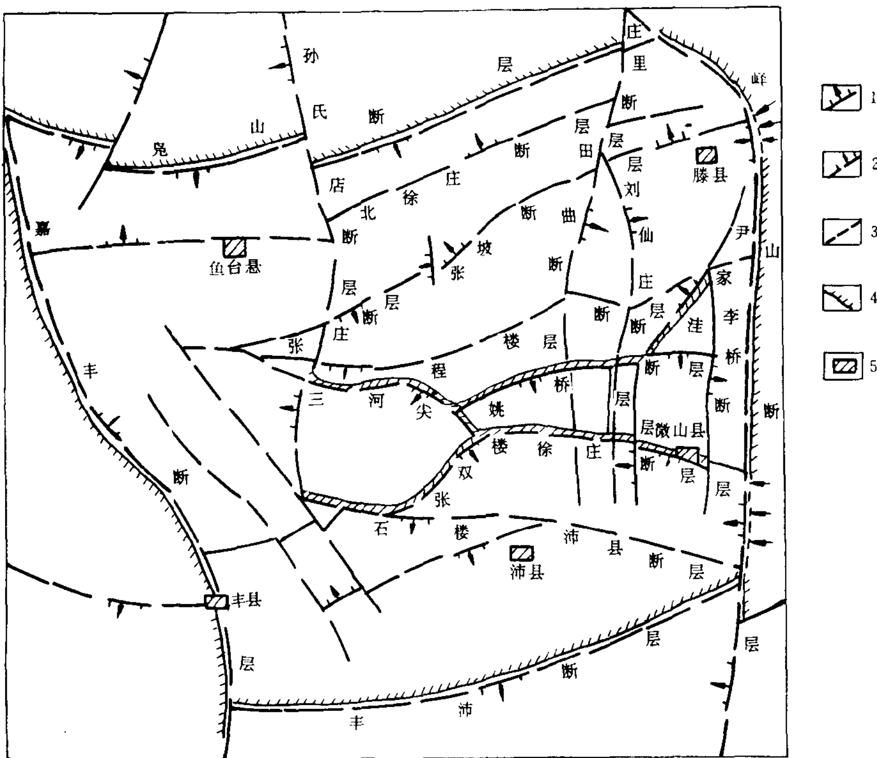


图2－44　大屯矿区区域边界条件示意图

1－正断层；2－推测正断层；3－可能透水边界；4－隔水边界；5－县城

（2）煤层上部直接充水含水层直接出露于地表，接受大气降水和地表水下渗补给，沿着倾斜方向具隔水边界（图 2－45）。具有这类组合边界的矿区，直接充水含水层地下水主要补给来源为大气降水，浅部露头区小窑密布，因采空区沉陷，地表形成张开裂隙和洼

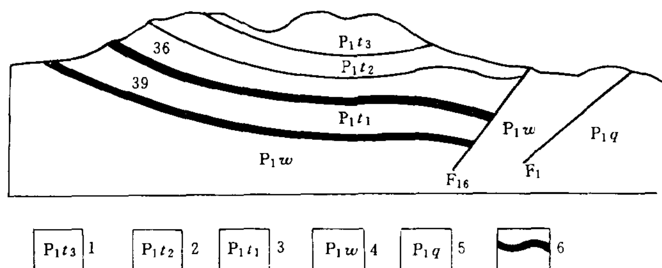


图2－45 福建红炭山煤矿红一矿直接充水含水层边界组合形式示意图
(取自福建省红炭山田螺形煤矿水文地质探采对比报告)
1－童子岩组第三段不均匀裂隙含水层； 2－童子岩组第二段隔水层；
3－童子岩组第一段不均匀裂隙含水层； 4－文笔山组隔水层；
5－栖霞组裂隙岩溶含水层； 6－煤层36

地，大量接受降水渗入而充水，矿坑涌水量变化与大气降水关系密切。分布在山地丘陵区和分水岭斜坡地带矿区，常具有这类边界组合形式。

(3) 煤层下部直接间接充水含水层在煤层露头带外围大面积出露为大气降水、地表水体垂直渗漏边界，沿煤系边缘，在天然状态下为顶托补给新生界底部孔隙含水层地下水边界，在矿坑充水条件下为煤层上部直接充水含水层接受下部直接、间接含水层地下水通过孔隙含水层水垂直下渗补给边界，在煤层露头带以内煤系分布范围内，由于断裂作用，在破碎带和对接部位可得到，下部基岩含水层地下水侧向或垂直顶托补给。北方石炭石叠系和南方晚二叠统等岩溶充水煤矿区常具有这类边界组合型式，矿区直接充水含水层垂向和侧向补给条件好，矿区处于开启状态的水文地质单元内，矿床富水，矿坑涌水量稳定，并随着开拓面积和深度增加，涌水量呈逐渐增加趋势，水位下降很缓慢（图 2－46)。

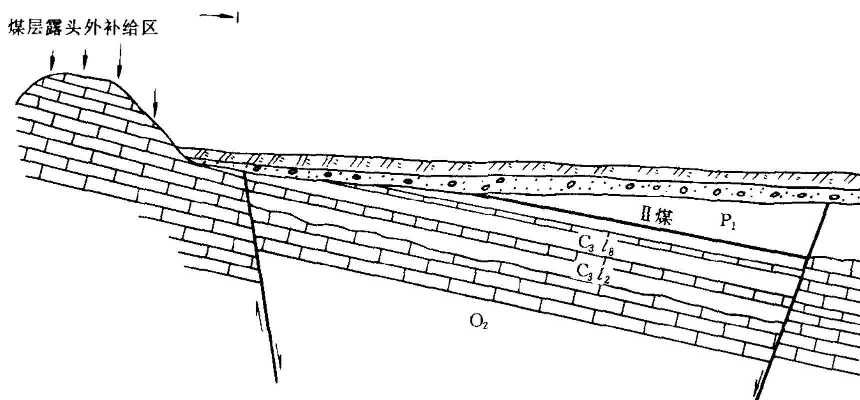


图2－46 焦作矿区九里山矿 O_2 灰岩含水层边界组合形式示意图

四、含水层的补给与排泄条件

含水层的补给与排泄条件主要受地形、地貌条件和地质、水文地质条件的控制。地

形、地貌方面表现在地形切割程度和煤层与排泄基准面相对的位置。地质、水文地质方面主要是含水层储水构造的规模、开启程度和直接出露于地表的范围、断裂构造、新构造运动，煤层上覆盖层的岩性和厚度，含水层的渗透性和水力坡度等。

（一）矿井地下水的补给来源，主要是大气降水的入渗，其次是地表水体下渗和含水层间的补给

矿井地下水的排泄，从采煤疏排地下水角度出发，采煤引起直接充水含水层向矿井进水。从补给和排泄观点看，相当于在直接充水含水层的天然流场中设置人工排泄基准面——矿井（图2－47）。矿井涌水量就是人工排泄量，但是回采疏排地下水将引起地面塌陷和水动力条件的变化，则能增加矿井地下水补给和袭夺天然排泄基准面的排泄量。因此，煤矿水文地质实践告诉我们要十分重视研究直接和间接充水含水层的补给、排泄条件，含水层的补给、排泄条件，不仅要研究天然条件下的补给、排泄条件，同时要研究采煤疏排地下水条件下的补给和排泄条件的变化，才能正确评价矿井充水条件和充水程度。对补给与排泄而言，补给条件更为重要，补给控制着涌水量大小、变化趋势和矿坑地下水的主要补给来源。

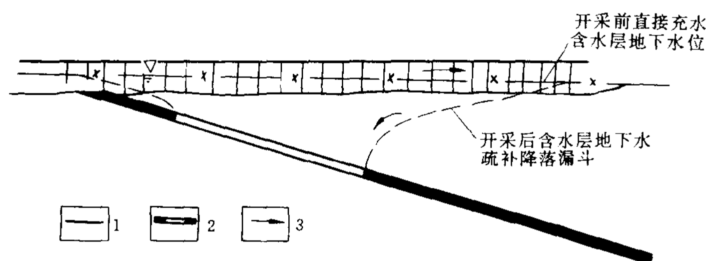


图2－47　开采煤层疏排地下水含水层向矿坑进水示意图

1－煤层；2－矿坑；3－地下水流向

（二）煤矿区直接充水含水层的补给与排泄条件控制和影响地下径流交替程度

含水层的补给与排泄主要是控制和影响地下径流的交替程度，即在地下水流场中从补给区向排泄区运动的地下径流的方向、速度和径流量大小。在自然条件下，直接或间接充水含水层地下水径流交替程度，在一定程度上反映了它们向矿井充水能力以及矿井涌水量的稳定程度。其交替程度有如下几种类型。

1.交替条件好

主要分布于强烈上升地区分水岭斜坡地带和山地丘陵区煤田。在自然条件下，直接充水含水层补给与排泄条件好，径流通畅，水交替积极，主要补给水源为大气降水入渗，河谷组成当地或区域排泄基准面，成为排泄水文网，侧向交替占绝对优势，水力坡度较大，补给区与排泄区之间径流路程短，在采煤和疏排矿井水的条件下，产生地面塌陷裂隙区和顶板含水层的水位下降，加强了煤系浅部地带大气降水的入渗，减少了地表径流强度，有更多地表径流转化为地下径流量，增加矿井涌水量（图2－48)。因此，矿井涌水量与降雨强度关系十分密切，矿井涌水量动态变化明显地受大气降水控制。川、黔、滇东三省晚二叠世、晚三叠世煤田的煤矿区属于该类型。

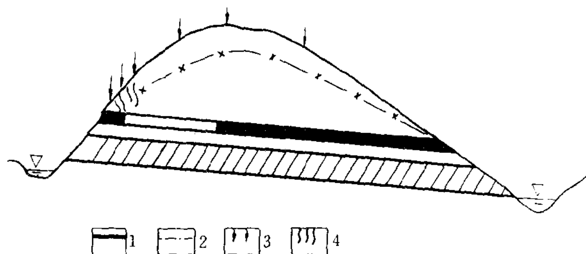


图 2-48　分水岭斜坡地带大气降水通过地面坍陷区入流示意图

2. 交替条件中等

（1）主要分布在山前倾斜平原、山间河谷平原和低山丘陵区煤田。

在自然条件下，直接充水含水层补给条件好至中等，主要补给水源为大气降水直渗，此外，通过导水断层获得相邻含水层地下水的补给和上覆松散含水层地下水垂直下渗补给。排泄条件中等，主要在低洼和河谷地带或阻水断层一侧以集中泉口排泄，还有侧向或垂直顶托排泄于上覆孔隙含水层和往深部排泄。一般在一定深度内径流较通畅，水交替较积极，属混合交替型，在煤系边缘以侧向交替为主，在煤系内部存在着垂向交替，水力坡度从补给区至排泄区由大变小，在泉口一带排泄区附近，随着垂向交替增加，水力坡度由小变大，补给区与排泄区间径流路程远，顺着地层倾斜方向往深部承压水水头压力增高，但交替条件差流动逐渐缓慢，在深部呈滞流状态，水质不佳，矿化度高，矿坑涌水量在浅部与大气降水关系表现出明显滞后现象，在深部矿坑涌水量动态稳定与降水量关系不明显。在采煤和疏排矿井水的条件下，分布于山前倾斜平原矿区，在煤系浅部和冲洪积扇组成的沉积物底部孔隙含水层接触的基岩面范围内。由于两个含水层水位差距增大，可能增加孔隙水垂直下渗量，同时，由于孔隙含水层水位随着直接充水含水层水位下降而波动，增强了冲积扇上部近山区吸收大量的大气降水和来自山区的地表水及下部基岩含水层顶托补给孔隙含水层，以保持其对直接充水含水层有较稳定的补给量，而在断层两盘对口部位和断层破碎带增强下部和上部相邻含水层侧向与垂向补给量，减少流向泉口或深部的天然排泄量，分布于山间河谷平原与低山丘陵区矿区，在煤系浅部能够激化基岩风化带含水层、第四系松散含水层和地表水三者之间水力联系，同时，在天然条件下形成的山间河谷排泄边界，不仅停止或减少天然排泄量，而且可以产生倒灌流入矿井。北方石炭二叠纪煤田和南方晚二叠世煤田大部分矿区属于该类型。

（2）主要分布在干旱或半干旱区山间谷地和山前盆地煤田。

在自然条件下，直接充水含水层主要补给水源为大气降水入渗，其次为第四纪砂层孔隙水和黄土状潜水下渗补给，补给条件不良，补给量少，地下径流量小，径流速度慢，主要排泄于山间河谷，还在山区及丘陵的沟谷与坡脚处以分散泉点排泄，侧向交替为主，水交替主要发生在浅部基岩风化带范围内，基岩风化带以下径流条件不良，矿井充水程度弱，早、中侏罗世的煤田，彬长，焦坪，黄陵，榆神府，安口一新窑，华亭，灵武等矿区属于该类型。

3. 交替条件差

主要分布于平原区煤田，在自然条件下，直接充水含水层地下水补给与排泄条件不良，主要补给来源是含水层之间补给，补给量有限，水力坡度小、流动缓慢，水交替微弱，属混合交替型，以垂向为主，在断层带附近侧向与垂向交替增加，基岩面附近垂向交替加剧，一般水质不佳，矿化度较高，矿井涌水量随时间逐渐由大变小和降水无关。在采煤与疏排地下水的条件下，主要是在煤层露头带及外围和新生界底部孔隙含水层接触的基岩面范围内，可能增加孔隙水垂直下渗量，在断层两盘对口部位和断层碎碎带增强下部和上部相邻含水层侧向与垂向补给量，北方巨厚新生界覆盖的石炭二叠纪煤田，淮南潘谢，淮北濉溪、宿州、临涣和河南永城等矿区属该类型。

第四节　人　为　因　素

一、煤田开拓方法及开拓方式对水文地质条件的影响

在许多情况下，采用适当的煤田开拓方法与开拓方式，可以使水文地质条件复杂的煤田变得相对简单；开拓方法或方式不当，可以使水文地质条件相对简单的煤田变得复杂，而复杂的煤田则变得更加复杂。

(一)井田划分

在一般情况下，一个煤田的井田划分主要考虑煤层储量及构造情况，很少考虑水文地质条件。但在某些特殊的水文地质条件下，井田划分还应考虑煤田水文地质的具体条件。否则后患无穷，甚至引起灭顶之灾。例如，对于煤层顶底板具有一个或几个强径流带或强岩溶带的煤田，在井田划分时就应把这些强径流带或强岩溶带放在井田边界煤柱范围之内，使其不能成为煤层开采的威胁，或至少不能成为先期开采的威胁。广西合山煤田就深有这方面的经验和教训。该煤田为一近南北向的长椭圆形不对称的完整向斜。西翼较平缓，东翼陡峻甚至直立、倒转，所有生产矿井都位于西翼的北部和中部。煤层顶底板均为合山组石灰岩，岩溶发育，尤其每隔 2 或 4km 就有一条 NWW 向强岩溶带（图 2－49)。当井下巷道遇到这些强岩溶带时，就会发生大量突水，甚至淹井。例如，柳花岭矿遇强岩溶带时最大涌水量为 96000m^3/d；溯河、里兰等矿则曾遭淹没（现已恢复）；石村矿于 1980 年遇强岩溶带、总涌水量 81600m^3/d 而淹没；马鞍矿于 －220m 水平突水，总涌水量 59040m^3/d 而被淹。但多年来的经验证明：只要井下不触及这些强岩溶带，矿井就可以安全生产。掌握了这一规律之后，就把这些强岩溶带作为各井的井田边界，留下防水煤柱（亦即井田边界煤柱），不去碰它，各矿只是在这些强径流带之间的弱含水地段进行采煤。这样一来，在水文地质条件非常复杂的合山煤田，各矿井（东矿、柳花岭矿、溯河矿、里兰矿及一些地方小矿）居然能一直保持安全开采，这就把矿井水文地质条件变得相对简单。现正把这一经验用于开发该煤田的南部新区。与此相反，该煤田的石村矿及马鞍矿就违反了这个规律，石村矿横跨几个强岩溶带，马鞍矿则正建在强岩溶带上，故矿井淹没后就一直难以恢复，须重新划分井田，改变原来的井田边界，以适应该煤田的水文地质条件，才能恢复安全生产。

与此同理，在有地表水流通过的缓倾斜煤田，划分浅部井田时，也应尽可能将河流放

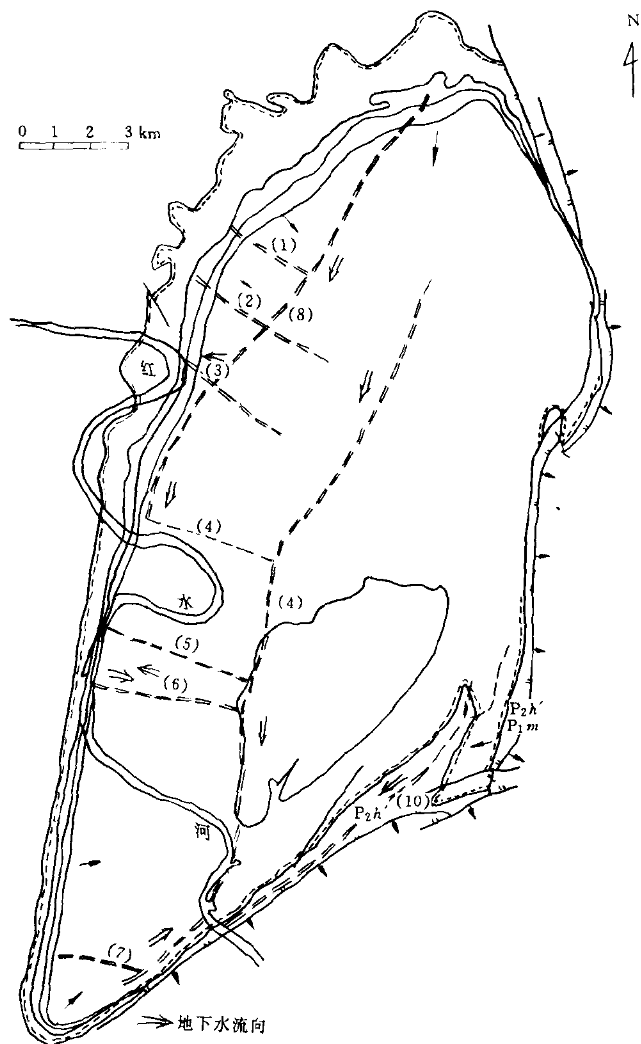


图2－49　合山煤田深部岩溶水主要强径流带平面分布图

主：集中水流次：分散水流

在井田界边界上，可避免许多麻烦。

（二）开拓顺序

在有些煤田，开拓顺序当否，能改善或恶化煤田的水文地质条件。当一个煤田，有些区段水文地质条件非常复杂，另一些区段则比较简单时，就应该先开发水文地质条件相对简单的区段，把水文地质条件最复杂的区段留到最后开发。这样，在整个开发和生产过程中就比较顺利。反之，如果先开发水文地质条件复杂的区段，则不但一开始就遇到困难，而且连后期开发的位于水文地质条件简单区段的矿井也将受到先期开采矿井水害的威胁。这样就使水文地质条件本来简单的区段也复杂化了。因此，“先简单后复杂”是煤田开拓所必须遵循的一条重要原则和常规。

当整个煤田的水文地质条件都很复杂，在任何区段单开一个井，都难以承受其巨大水量时，只要煤田的含水构造规模不很大，可以在煤田内同时开拓几个井，以分担其水量，使煤田开发成为可能。这叫做“多井联合疏干”。湖南的煤炭坝煤田就是这样做的。该煤田为一向北东东敞开的不对称向斜，面积仅 20 余平方公里。煤层底板下有茅口灰岩，顶板上有长兴灰岩，距煤层都很近。岩溶都非常发育，还与地表水有联系，补给水源非常充分。水文地质条件十分复杂。其水量之大，显然非单独一个矿井所能承担。于是在该煤田的向斜两翼各开两对矿井，同时疏排地下水，总水量达 $8175m^3/h$。由于有 4 对井共同分担，水量还可以承受。因而能一直坚持正常开采。

(三)井筒类型选择

井筒类型可分为立井和斜井两大类。用立井开拓还是用斜井开拓，除了要考虑煤层储量及地质构造外，还应考虑水文地质条件。例如，在巨厚新生界含水层覆盖下的煤田，以用立井开拓为宜。用冻结或钻井法都可以顺利通过巨厚的新生界。只要没有特殊原因（如新构造运动、地震、井筒结构不合理等），井筒维护一般也比较容易。如用斜井开拓，则不但井筒开凿十分困难，即使勉强通过了新生界，也无法长期维护井筒安全，给以后的正常生产留下无穷后患。但对于山间河谷冲积砂砾含水层覆盖下的煤田，则一般宜从河谷两侧山地或台地用斜井（正斜井或反斜井）开拓，比在河谷中用立井开拓要顺利得多。

当煤层底板为较厚的流沙层、塑性粘土层或主要岩溶含水层时，一般宜用立井或反斜井开拓，以避免与其直接接触。如用正斜井开拓，则不仅凿井与维护都很困难，还会导致矿井水文地质条件复杂化，给以后的正常生产留下后患。与此同理，当煤层顶板以上有主要岩溶含水层或不良工程地质层时，则不宜用立井或反斜井开拓，而以正斜井开拓为宜。

(四)井筒位置选择

井筒应布置在含水层层数少、含水性弱位置，一般要求避开强含水层与断层。

基岩井筒在掘进中揭露含水层或见断层发生涌水，可进行地面预注浆及工作面注浆处理，但涌水量大，则矿井建设投资增加，矿井投产期一拖再拖，给煤炭工业建设带来很大损失。例如，50 年代末，开滦矿区荆各庄矿主井在井深 188.50m 突水 $258m^3/h$，处理二年无效被迫停建，到 70 年代才恢复。70 年代中期，淮北矿区临涣主井在井深 400m 以上，见 2 条落差分别为 2.8m 和 17m 断层，发生 3 次突水，最大突水量 $290m^3/h$，处理二年费用约 200 多万元（图 2－50）。开滦矿区钱家营矿，副井在井深 278m 见断层，涌水量 $125m^3/h$，工作面注浆 8 个月。80 年代，邯郸矿区云驾岭矿，1988 年开工，至今未投产，主井总涌水量 $904m^3/d$，副井 $942m^3/h$，井筒注水费约 600 万元。

(五)井底车场布置

井底车场应布置在坚硬和稳定性强的隔水岩层或弱含水层地段，而且距底板承压含水层之间应有足够的安全厚度，尽可能避免穿过断层破碎带和强含水层。

因井筒落底后，开凿井底车场时，井下永久水仓与泵房尚未建立，矿井排水能力小，一旦发生突水，将造成矿井被淹井。例如，焦作矿区中马村矿 1955 年建井，竖井井筒布置在井田中三断层附近，井底车场开凿在构造发育的富水性地段（图 2－51)。井筒落底后，1958 年 3 月，－164m 水平临时水仓掘进，在 73m 巷道中先后揭露 4 条断层，距离 L_8 灰岩承压含水层只有 5～6m，含水层水压达 2.5MPa，在断层带附近发生“底鼓”突

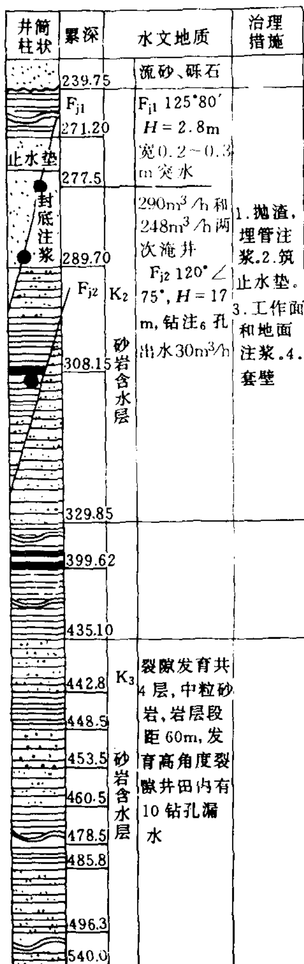


图2－50 临涣矿井筒主要出水点图

水，计算水量 105m³/min（图 2－52）淹井，后经注浆排水恢复。1958 年 10月 16 日，在井底车场东部和车库回风巷和专用回风上山掘进工作面发现底鼓，矿井再次被淹，直至 1970 年才投产。以后在演马庄矿、冯营矿建井，井底车场顺煤层倾斜方向开凿在煤层顶板弱含水的砂岩中，距底板 L_8 灰岩承压含水层有足够距全厚度，使永久水仓、泵房及保护井底防水闸门建成，井下防、排水能力形成后，再向外掘进运输大巷进入采区，保证了基建阶段井巷掘进工程顺利进行。

开滦矿区东欢坨矿 3号井（原风井）被迫自动淹井更为明显的例子。东欢坨矿位于开平煤田车轴山向斜东南翼，为一第四系冲积层覆盖下的隐蔽式煤田。

本区共含可采与局部可采煤层九层，自下而上为二叠系大苗庄组，含煤四层，煤 5、煤 7、煤 8、煤9，石炭系上统赵各庄含煤四层，煤 11、煤 12－3、煤 12－2、煤 12 下，开平组含煤一层，煤 14－1。

区内与煤田水文地质条件有关的含水层自新至老分布有：第四系底部卵砾石层孔隙承压含水层组（Q）、A 层铝土至煤 5 顶板强裂隙承压含水层（P_1^3－P_1^2），煤 5 底板～煤 s_{12-1} 弱裂隙承压含水层组（P_1^2－C_3^2），煤 s_{12-2}～G 层铝土强裂隙承压含水层组（C_3^2－C_1），奥陶系石灰岩强岩溶裂隙含水层。

东欢坨矿位于车轴山向斜收敛翘起部位，构造发育，煤系砂岩含水层，裂隙发育、东欢坨矿井设计年产 400 万 t，井田开拓方式以主井阶段石门集中大巷方式开拓，投产时有－230（回风水平），－500m（初期运输水平），－690m（初期辅助运输，后期主运输水平） 3 个水平。设计 1号（主井）、2 号（副井）、3 号（原风井）3 个井筒。3 号井为矿井初期的总回风井（图 2－53），布置在煤 $14^{-1}s$ 露头附近，井深 254.4m，井筒穿越第四系冲积层 166m（底部卵砾石层厚度 31.9m），冲积层底部直接与石炭系煤系接触，穿煤 s_{14-1}，K_4、K_3、K_2 石灰岩，西井底车场布置在煤 s_{14-1} 以下底板强含水层内（图 2－54），造成了在－212m水平马头门南北回风石门掘进层位为 K_3～K_4 灰岩，过 K_3 灰岩均发生突水，水量达 1000～1050m³/h，对整个北石门巷道形成较大范围的破坏，被迫停止掘进，自动淹井，移动风井位置，在相距 3 号井 356mNW305°布置新风井，井底车场放在煤 12－2（图 2－55）。

（六）运输大巷布置

运输大巷布置一般是将主要运输大巷布置在煤层底板不受采动影响的坚硬和整体性的

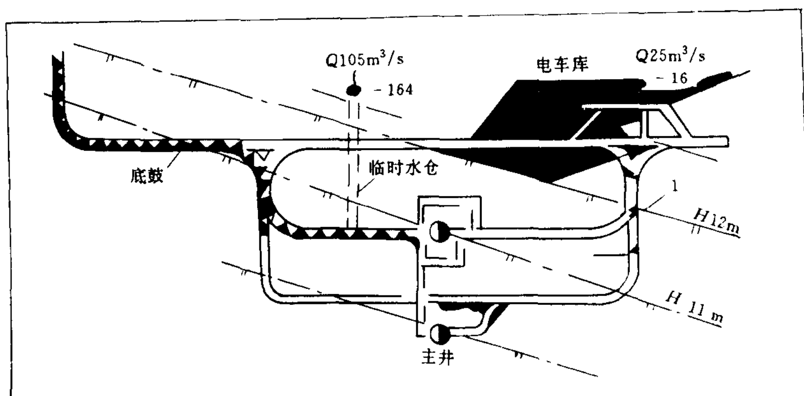


图2-51 中马村矿井底车场与突水点平面位置图

（据夏镛华）

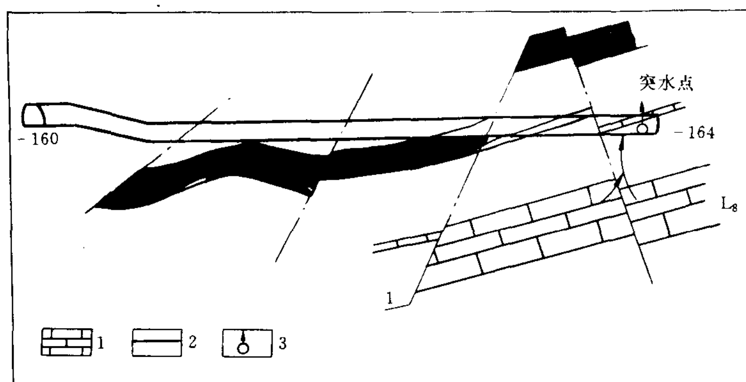


图2-52 临时水仓地质剖面图

（据夏镛华）

1-灰岩；2-煤；3-突水点

岩层中，因井巷维护工程量少，煤柱损失少。当煤层底板以下为强承压含水层，如北方石炭二叠纪煤田和南方晚二叠世煤田底板进水为主的岩溶充水矿区，为了预防底板突水，运输大巷布置应结合水文地质条件和煤层顶板岩石物理力学特征，达到避免水害，实现安全、快速掘进。布置方式一般是：

(1) 煤层顶板岩石坚硬、完整好，把井底车场布置在煤层顶板含水性弱砂岩层内，防、排水系统建立后，将运输大巷转做于煤层底板隔水岩层或薄层灰岩、属于这种布置方式有北方岩溶充水矿区一些煤矿区，例如，焦作矿区演马庄矿、冯营矿等。

(2) 煤层底板为碳质泥岩、泥岩，井巷受地下水浸泡后易变形，井巷常造成垮巷和底板突水事故，井巷经常需要维修，影响排水。将井底车场直接建在煤层底板灰岩岩溶不发育地段，在防排水形成后，将运输大巷掘进在灰岩内，属于这种布置方式有南方岩溶充水矿区，例如，湖南煤炭坝煤矿。

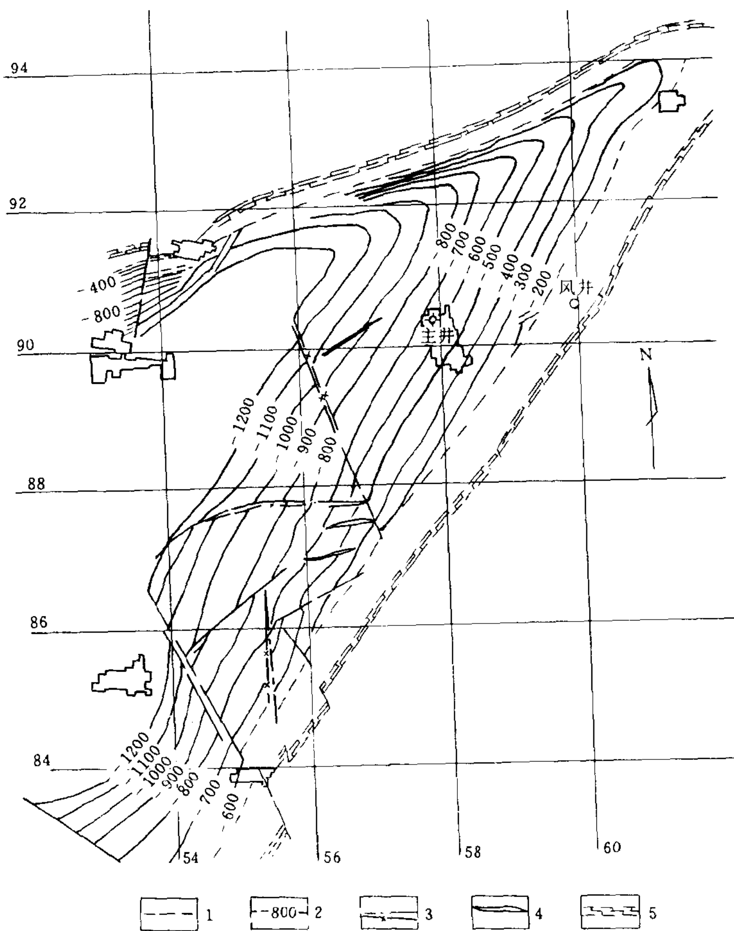


图2-53 东欢坨矿1（主）、2（副）、3（原风井)号井筒平面图

1－煤9露头线；2－煤9等高线；3－断层$\frac{上盘}{下盘}$；4－向斜轴；5－奥陶系灰岩

二、采煤方法对水文地质条件的影响

所谓采煤方法对水文地质条件影响是指采动后造成了老顶周期来压，上覆岩层遭到破坏和矿山压力对隔水底板破坏，从而导致煤层上覆和下伏含水层地下水天然流场改变而集中流入矿井。

煤层在未开采之前，煤系岩体内应力处于平衡状态。煤层上覆和下伏含水层中的地下水由补给区流向排泄区，受自然条件下岩性、地形、地貌、地质构造等条件控制。采动后使岩体平衡状态被破坏，为达到新的应力平衡，发生了围岩变形、移动和破坏，从而对井下回采工作面与巷道产生了矿山压力，在矿山压力作用下，出现了诸如顶板冒落、底板隆起、煤壁或岩壁片帮支架拆断，岩层移动，煤与沼气突出，冲击地压，煤的挤出等一系列现象，其中顶板冒落和底板隆起，一般情况下，改变煤层上覆和下伏含水层地下水赋存、运移条件，触发和诱发矿井顶底板突水。

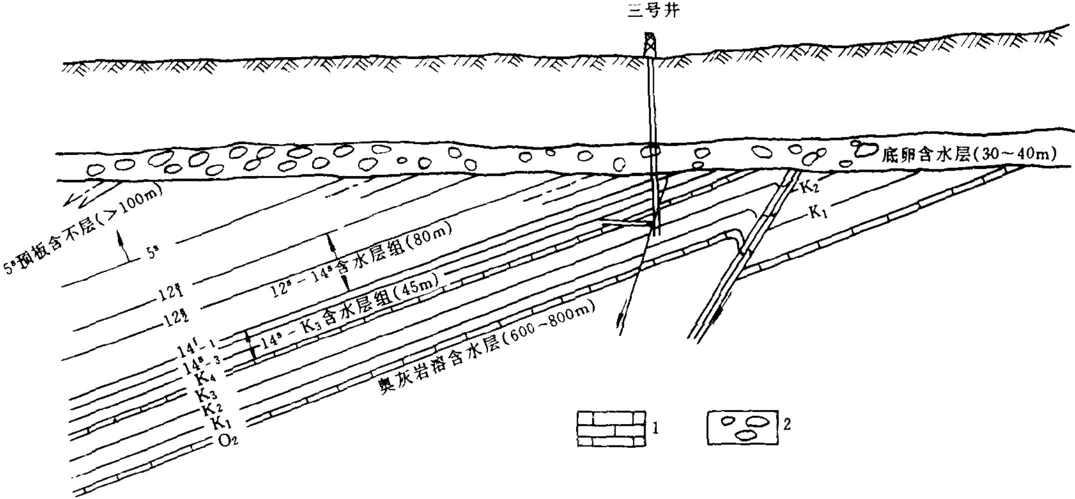


图2-54 东欢坨矿 3号井(原风井)地质剖面图

(据开滦矿务局)

1-奥陶系灰岩；2-第四系冲积层底部卵石层

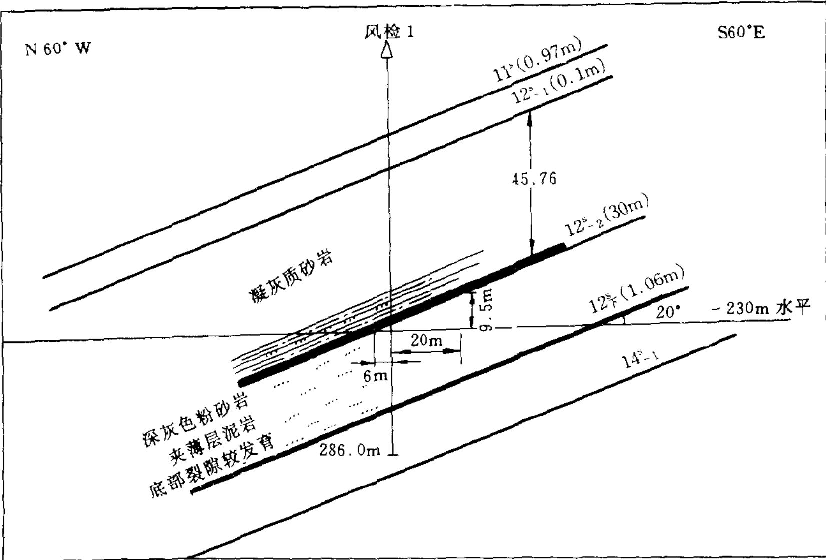


图2-55 新风井区地质剖面图

(据开滦矿务局)

(一) 煤层顶板破坏及顶板突水

当用全部垮落法采煤时，在采空区上方形成三个破坏带，即，冒落带、裂隙带和弯曲带（图2-34）。在冒落带和裂隙范围内使连续分布的含水层受到破坏，出现了“泄水口”，赋存在含水层内地下水流入矿井。因此，在采煤时，应尽量避免因采动而产生的冒落带和裂隙带高度扩展到煤层顶板以上强含水层，以减少从顶板大量来水。为了确定冒落

带和裂隙带高度，煤炭系统的科研、生产和教学单位对不同地质和水文地质条件的矿井，顶板跨落、上覆岩层遭到破坏和顶板突水关系作了大量工作，总结出很多经验或半理论公式，从这些公式中可以看出，冒落带和裂隙带高度受煤层厚度、倾角、分层开采数，煤层顶板岩性组合和岩石物理力学强度等因素控制。因此，通过地质勘探取得有关资料后，就有可能对未受到构造破坏的煤层顶板以上强含水层，在开采条件下是否会发生顶板突水作出评价。

（二）煤层底板破坏及底板突水

矿井底板突水的原因，是含水层的水压、采动矿压、隔水层厚度及导水裂隙的存在等因素共同作用的结果。回采煤层时，采空区顶部和底部岩体内形成免压区。采空区倾斜边缘支撑压力区或弧形高压区是采空区底板突水区，尤其是在两个区交界处剪切弧形带附近是突水集中之处，据峰峰、井陉、淄博、徐州4个矿区31次回采工作面突水实例统计，发生在剪切弧形带附近的占93%，其它部分占7%（图2-56）。

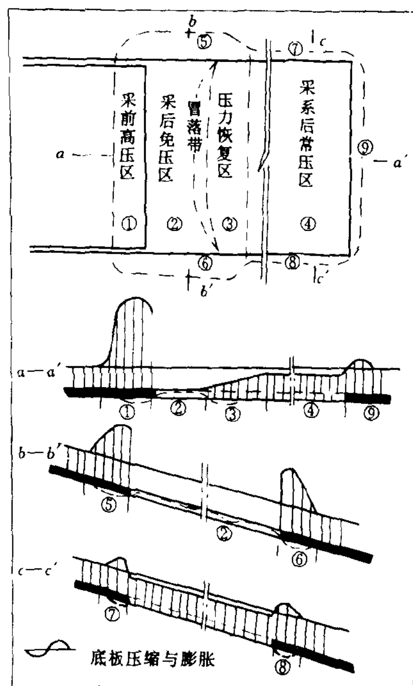


图2-56 采场底板矿压分布

（据王振安）

采煤工作面的斜长越大，则支撑压力越大，支撑压力对底板的破坏深度也越大。同时，还由于采煤工作面越长，悬顶区的跨度就越大，下伏含水层的水头压力对悬顶区隔水底板所产生的纵横弯矩也越大，就越容易使底板破坏而突水。故缩短工作面，有助于防止底板突水。必要时再配合人工放顶，以减小悬顶区的纵横跨度，防止底板突水的效果更佳。如底板突水的威胁很严重时，还可以改用房柱式开采或充填法开采，一般可以避免底板突水。

三、防治水方法对水文地质条件的影响

防、治水方法是否得当，是影响矿井水文地质条件的最重要的因素之一。适当的防、治水方法能使水文地质条件复杂的煤田或矿井变得相对简单，使煤层开采顺利进行。反之，如防、治水方法不当，则不但不能改善水文地质条件，白白浪费人力物力，甚至还可以使水文地质条件更加复杂化，以至后患无穷。现举例说明如下：

例1 湖南的煤炭坝煤田，煤层下距茅口灰岩仅0.5m。建井初期，井下到处发生底板突水。当时曾采用井下注浆的办法，到处堵水，结果堵住这里，那里突，堵不胜堵，耗费人力物力不少，仍然无济于事。先后淹井或部分淹井14次（全淹4次，部分淹10次），造成巨大损失。后来改变治水方法，将各井的运输大巷都直开凿在茅口灰岩内，进行多井联合疏干。总水量虽然更增大了，但采煤工作条件改善了，生产效率提高了1倍，全矿还

扭亏为盈，以后就再无淹井事故发生。总的看来，效果是好的，是成功的。但由于单纯注意了强排，造成地面塌陷，同时对于地面水大量灌入井下的现象未采取堵截措施，对于通向外围的几个补给通道（强径流带）也未进行堵截，以至矿井水量很大，仅南部 4 个井的总排水量就有 $8175m^3/h$ 之多，其中有很大一部分是排的循环水。排水费用很大，增加了采煤成本。这个问题亟待解决。

例 2　福建某矿、煤层底板下有一层细砂岩含水层，通过安山岩墙风化带与数百米以外的栖霞灰岩发生水力联系，获得稳定的补给。矿井开拓时，井筒及水仓遇到安山岩及此层细砂岩时均出水，水量虽然不很大（只有 $230m^3/h$ 左右），但很稳定，对于一个小矿来说，其排水费用还是可观的。为了减少排水费用，该矿采取井壁注浆的办法对井筒和水仓的涌水部位进行注浆止水。顿时水量大减，效果非常显著。但当矿井进一步开拓，巷道再遇到此层细砂岩时，又复涌水如初，而且这层细砂岩距煤层很近，不仅掘进时要多次遇上它，煤层开采时也将发生底鼓而突水。显然，用井壁注浆的办法是无能为力的。如果我们改变防治水方法，将井下注浆改为井外截流，其效果就大不相同了。细砂岩含水层厚度很薄，含水量很小，其可能获得的露头补给也很小，其所以能长期保持稳定涌水，疏排不干，是由通过安山岩墙风化带获得强岩溶化的栖霞灰岩的稳定补给。只要用必要的手段查明安山岩墙的产状及其风化带深度，在有利的地段打钻注浆，截断其补给水源，细砂岩含水必将很快被疏干，使井下基本无水。所花费的工程和费用并不大（估计只需相当该井一年多一点的排水费），就可以基本实现无水作业，其效益之大是可想而知的。这样，就可以把一个水文地质条件相对较复杂（对于小井而言）的矿井，变为一个水文地质条件非常简单的矿井了。

例 3　山东的肥城煤田，太原组中的徐家庄灰岩，厚度约 10m，岩溶化比较强烈，它上距太原组九、十层煤，分别为 20m 及 25m，下距奥陶纪灰岩强含水层 10～16m，并与之有密切的水力联系，为徐灰的主要补给水源开采九、十层煤（尤其是十层）时，曾发生多次突水，其中水量大于 $16.67m^3/min$ 的 5 次，最大突水量 $299m^3/min$。造成淹矿 1 次，淹井 1 次，淹没采区 2 次。水害严重地影响着肥城矿区的煤炭生产。近几年来，摸索出了一条“奥灰以防为主，徐灰以治为主”的经验，对徐家庄灰岩及其与奥灰联系的构造裂隙带在井下全面进行超前注浆，把徐灰由含水层改造为加固了的隔水层。徐灰不仅不能突水，而且还加强了对奥灰的防水能力。起到了“一箭双雕”的作用。从 1986 年至 1990 年，肥城矿务局用这个办法在大封、杨庄、曹庄、陶阳等矿的九、十层煤 23 个工作面进行了安全采煤，还节省了大量排水费用。这样一来，一个水文地质条件本来很复杂的肥城矿区，硬是通过人工改造，把它变得很“简单”了。

例 4　河北的井陉煤田，太原组煤层与下伏徐家庄灰岩含水层之间的岩层厚度约 30m 左右，断层、陷落柱众多，裂隙非常发育，与下伏徐灰水力联系密切。煤层开采时屡屡发生底板突水，最大突水量 $756m^3/h$（1974 年 9 月 6 日较场北区五煤运输巷突水）。近几年来，井陉矿务局采用井下超前探水注浆的办法，既封闭了底板岩层中的导水裂隙，又提高了底板岩层的岩体强度及其抵抗水压和矿压的能力，基本上避免了底板突水，取得了很大成效。

四、地面水利工程及其它建设对煤田水文地质条件的影响

地面水利工程（水库、水渠等）往往对煤田的水文地质条件产生重要影响。例如，有

河流通过的煤田，在上游修建水库，能缩小煤田内的洪水淹没范围，有利于煤田开发；在煤田范围内修建水库尤其是在煤层赋存较浅或煤层露头部位修建水库，则有碍于煤田开发，甚至使水下煤层完全不能开发；当水库或水渠位于煤层的直接充水含水层的露头部位时，则使此直接充水含水层获得充分的补给，而加大煤层开采时的涌水量，甚至能导致水库或水渠中的水大量灌入矿井。

在某些特殊情况下，地表的重要厂房和建筑物也能增加煤田水文地质条件的复杂性。例如，湖南的云湖桥煤田及辰溪煤田，在茅口灰岩之上建有重要厂房，而茅口灰岩又距煤层底板很近，煤层开采时必然要疏排茅口灰岩中的水而引起大范围内产生地表岩溶塌陷，势必危及这些重要厂房。为了保护这些重要厂房，就不得不暂时放弃对这些煤田的开发。这就等于加剧了这些煤田水文地质条件的复杂性。

第三章　煤矿床充水特征

煤矿床充水特征是矿床水文地质学研究的主要内容。煤矿床充水是指煤矿床开采过程中，各种来源的水（如大气降水、地表水、老窑水、地下水等），通过不同的方式（如淋水、渗入、溃入、突水等）和途径（如回采冒落裂隙带、导水断层、裂隙带、集中径流带、风化带、岩溶陷落柱、老窑采空区等）进入矿坑的过程。矿床充水特征则由充水水源、充水方式和通道，以及影响充水性质和强度的其它因素所决定，同时与矿床的开拓方案、工艺和方法密切相关。研究矿床充水水文地质特征，可为选择最优的开拓方案、工艺和开采方法提供水文地质依据，反过来开拓方案及开采方法又可改变矿床充水特征。例如，煤炭坝矿区，以往将大巷放在煤系内，茅口灰岩的水以突水方式进入矿坑，突水地段则为茅口灰岩的岩溶发育地段，同时也是煤层的隔水底板的薄弱地段或受构造破坏的地段，充水水量的变化取决于突水地段茅口灰岩的岩溶发育程度、水头压力及煤层底部隔水层厚度等因素，由于矿坑突水有较多的不可预知因素，因而矿井防排水处于被动的地位。后来，该矿将大巷改建在茅口灰岩内，直接疏排茅口灰岩水，从而改变了矿坑的充水特征，茅口灰岩从突水而改变为向矿坑涌水，使矿井从被动的排水而成为主动排水。在突水的情况下，茅口灰岩的水位没有产生区域性大范围的下降，但在疏水的条件下产生了大范围、大幅度的持续下降，疏排影响范围不断地扩大。又如，四川沐爱矿区，宣威组上段含煤，有厚达百米的宣威组下段相隔，下伏峨嵋山玄武岩的地下水一般不会进入矿坑，但由于开拓需要，许多矿井将运输大巷及井下硐室建在玄武岩中，因而玄武岩中的地下水就成了矿坑的充水水源。在河流、小溪、老窑、湖泊、水库、冲积层下采煤时，在防水煤柱足够厚的情况下，这些水源一般不会进入矿坑；但当煤柱厚度不足时，水将通过冒落裂隙带进入矿坑，甚至直接溃入矿坑。在冲积层下采煤时，如果预先对采区上方的冲积含水层进行疏干，不但可以大大地提高回采上限，而且也不致于造成矿坑大量充水。这样的例子很多，它说明选择适当的开拓方案，开采方法可以改变矿坑充水条件，减少矿坑充水水量以利于矿床的开采，还可以用堵、截、帷幕注浆、排供结合等办法来改善矿井的工作条件，使矿坑充水条件向有利的方向转化，提高矿山的经济效益。

研究矿床充水特征还必须研究矿坑疏排地下水后，地下水天然流场的改变。天然流场的改变包括含水层的补给、径流、排泄条件的变化，各含水层及地下水与地表水的关系和岩层渗透性能的改变等。例如，开采浅部煤层时，在天然状态下，煤层上部岩层可能是隔水的，但在煤层开采以后，由于冒落裂隙的产生，可使这些隔水岩层转化为导水岩层，因而成为大气降水向矿坑充水的通道，河流或湖泊在天然条件下可能是排泄地下水的场所，但在开采条件下它们则可能成为地下水的补给来源。煤层的开采、矿井疏排地下水的结果必然要改变矿区原有的地下水流场而形成新的开采条件下的地下水流场，这种开采条件下的地下水流场与矿坑充水特征是相互统一的，研究自然流场可以预测开采流场，研究开采流场也为论证矿坑充水特征提供依据。

矿坑充水水源主要有大气降水、地表水、老窑水及地下水等。按照它们对矿床充水的性质，可分为直接充水水源和间接充水水源，直接充水水源是可以不通过其它含水层而直接向矿坑充水的水源，其水量的大小常决定着它向矿坑充水的能力。间接充水水源实质上是一种补给水源，它不能直接进入矿坑，而是补给其它含水层，通过这些含水层再向矿坑充水，它向矿坑充水的强度除决定于自身的充水能力（水量大小）外，主要地还是取决于它所补给的含水层的导水能力。例如，一条大河、一个大湖，它有相当大的充水能力，但只要矿床开采时冒落裂隙带不直接达到河床、湖底，它们就不能直接向矿坑充水；如果存在着既和这些地表水体有较密切的水力联系又能向矿坑直接充水的含水层，那么这些水便能通过补给含水层的方式间接地进入矿坑，至于它能够向矿坑充多少水，则只能由直接充水含水层的导水能力来决定了。这就是尽管地表水体就在煤层上方或者矿区附近，而且这些地表水体与矿区含水层有着密切的水力联系，我们往往仍能安全或正常开采这些煤层的原因。大气降水，如果通过冒落裂隙带进入矿坑，则为直接充水水源；如果通过补给含水层然后再进入矿坑，则为间接充水水原（补给水源），它们对矿坑充水的作用往往是不相同的，直接充水水源的特征通常决定着矿坑涌水量的大小，而间接充水水源常决定着矿坑水量的变化趋势，决定着矿坑能否疏干及疏干的难易程度。直接充水水源的主要特征是其水量的大小和补给条件的好坏，所谓补给条件的好坏，则决定于它和间接充水水源的水力联系程度和间接充水水源的水量大小、补给来源是否充沛等。一般情况下，在矿井疏排地下水的过程中，初期水量由直接充水水源的水量大小所决定，而后期水量由其补给条件即一般由间接充水水源的特征所决定。

影响矿床充水特征的因素很多，但起决定作用的因素是充水水源、隔水层、煤层的特点及其组合关系。矿床充水水源的特征是决定矿坑涌水量及疏排地下水后可能产生的一些水文地质工程地质问题的性质、范围的主导因素；充水水源与煤层之间的隔水层则限制着充水水源向矿坑充水，决定着充水水源向矿坑充水的潜力发挥到什么程度，以及在何处、用什么方式、通过什么途径向矿坑充水；煤层的厚度、赋存深度等特点常常影响着煤层的开采方法和开拓方案以及采高等要素，改变着矿坑充水特征。

在决定矿坑充水特征的诸多因素中，矿床的充水水源是居于首要地位的。矿井之所以要进行防排水，则是因为有充水水源存在；有充水水源存在，才有必要研究充水水源与煤层之间的隔水层特征，研究充水水源以什么方式、通过什么途径进入矿坑，通道是否畅通；在矿床水文地质条件比较复杂，矿坑充水量较大的情况下，则还有必要研究矿井的开拓方案，以改变矿井的充水条件，使之向有利方面转化。总之，矿床的充水特征研究通常应以充水水源的研究为主导因素。但是，一个矿井通常不止一个充水水源，而且有主有次。一般情况下，老窑水、大气降水、地表水多只是矿床充水的间接水源或局部性水源，而地下水则为矿床充水中最普遍、最重要的经常性水源。

第一节　岩溶含水层充水特征

岩溶含水层在中国煤矿床充水及矿区供水中均占有相当重要的地位，这主要表现在：

（1）岩溶充水矿床分布十分广泛，从阴山—沈阳一线以南，贺兰山—六盘山以东，岩溶充水矿床普遍分布。

(2) 我国许多重要的煤矿区都是岩溶充水型矿床，煤炭储量大、产量高，在煤炭工业的发展中占有极重要的战略地位。如开滦、峰峰、焦作、鹤壁、淮南、淮北、邢台、井陉、霍县、韩城、澄合、晋城、济宁、肥城、山东黄河北煤田、砟渡、煤炭坝、丰城、云湖桥、新郑、西山等。

(3) 岩溶充水矿床水文地质条件多比较复杂，矿床涌水量一般较大，疏排地下水可能出现的问题（如地面塌陷、地表水及浅层地下水源枯竭等）也多，影响范围较广。岩溶水淹井在矿井水害中是最突出的问题，在煤矿开采中，因之而发生淹井的次数最多，损失也最大。

(4) 岩溶充水矿床含水层极不均一，且多为底板充水矿床，水文地质勘探和矿井防治水难度较大。

(5) 在岩溶充水矿区，岩溶含水层一方面威胁煤层的开采，另一方面又是当地供水的宝贵资源，有时甚至是唯一的供水水源，矿床开采中地下水水质保护，矿床地下水的综合利用，排供结合问题有相当重要的意义。

一、岩溶发育的基本规律

岩溶发育的规律性问题是国内外许多专家学者长期研究的问题，已经有许多文章和专著发表，然则岩溶的发育是地质历史时期内各种因素的综合作用的结果，由于岩溶发育条件多种多样，影响因素众多，且在其发育过程中经常发生变化，各种因素在岩溶发育的不同时期或不同阶段有不同的地位和作用，以致形成岩溶发育的千差万别，有共性也有个性，各研究对象往往既有普遍存在的一般规律，又有某些特殊的表现。故而研究对煤矿充水起作用的岩溶含水层的岩溶发育规律，必须结合煤矿开采的实际需要，充分考虑到岩溶含水层对煤矿充水的特点，研究岩溶含水层、隔水层以及煤层间的组合关系，把岩溶含水层的富水性、导水性的分布，补给条件以及向矿井的充水特征统一考虑，让岩溶发育的规律性研究直接服务于煤矿床开采和矿区供水工作。根据这个想法，本章从以下几个方面扼要讨论一下岩溶发育与碳酸盐岩类的岩性、出露条件、降水、地表水，地壳运动以及断裂构造的关系问题。

1. 岩溶发育与岩性的关系

可溶岩的存在是岩溶发育的基本条件，而不同的可溶岩其岩溶的发育有不同的表现形式，对煤矿床水文地质条件研究而言，主要是碳酸盐岩类，在某些层位也可能夹有石膏层。石膏层本身的岩溶从现状上讲已经不是煤矿床水文地质工作的研究重点，但这些石膏层对相邻层位的碳酸盐岩中的岩溶发育曾起过或正在起着某些不可忽视的作用，石膏层大量遭受溶蚀的结果造成上覆岩层的破碎坍塌，强化了碳酸岩的溶蚀作用，是形成角砾状的碳酸盐岩和石灰岩白云化的重要原因，也在我国北方一些特殊的岩溶现象，如岩溶陷落柱的形成中起了很重要的作用。

岩溶发育与岩性的关系主要表现在以下几个方面。

(1) 岩石的特征。主要包括岩石的结构与矿物组成，如矿物的成分、粒度、排列组合类型、联结方式。岩石的组成主要表现在不溶性矿物（主要为粘土矿物）和可溶性碳酸盐矿物，以及碳酸盐矿物中方解石、白云石间的含量比例和组合方式。在一般条件下，可溶岩中粘土矿物等不溶组分含量越高，岩石的溶蚀发育程度越低，方解石通常比白云石易于

溶蚀，粗颗粒矿物组成的岩石较细颗粒组成的岩石更有利于溶蚀作用的发生和发展。

(2) 岩层（体）的特征。岩层（体）通常在垂直方向上及水平方向上均存在着不同程度的岩性变化，同一可溶岩层自身由于沉积环境条件、成因、物质来源、沉积后的经历等方面的差异也会引起岩性、岩石结构的不同，使得即使同一岩层，岩溶发育的物质基础也不尽相同，研究岩层的岩性在垂直方向上和水平方向上的变异情况，经常会发现岩溶发育也常常随之有相应的变化。岩层的厚度也对岩溶的发生和发展起着重要的作用，厚度较大的岩层，有利于层内岩溶作用的发育，易于产生大型的岩溶洞穴和裂隙网络系统，也易于形成穿层岩溶，而薄层的可溶岩则往往利于产生层面岩溶洞穴和裂隙，穿层的岩溶洞穴或裂隙则可能相对较少，岩溶发育的规模也往往较小。那些可溶盐矿物成分含量高、厚度大，颗粒粗的岩层往往是岩溶作用最强烈的岩层，这在我国北方石炭系太原组灰岩中可以找到许多例证。当然，也可以找到在薄层岩组中形成的大型岩溶洞穴，但这往往和底部石膏层大量溶蚀而形成的坍塌有关。

(3) 岩层的组合关系。在煤矿开采中遇到的碳酸岩类往往是许多岩层的复杂的组合体，可以划分出若干种不同的组合类型。因组合类型不同，而岩溶发育有较明显的差异。又从可溶岩层的厚度不同可以分为以厚层状岩层为主的层段；以薄层岩层为主的层段；厚岩层与薄岩层相间的层段。以岩层中可溶性碳酸盐矿物所占的比例上可以分为不纯碳酸盐岩（主要含有大量的粘土矿物或硅化物）为主的层段；纯碳酸盐岩为主的层段以及不纯碳酸盐岩与纯碳酸盐岩相间分布的层段。从可溶盐矿物组成上可以分为灰岩为主的层段，以白云岩为主的层段，白云岩与灰岩相间分布的层段。无论从岩层厚度、可溶成分的含量上、还是碳酸盐岩层的矿物成分上划分层组类型，均是根据不同类型，岩溶发育的条件和程度也有所不同的这个原则，即所划分的不同层组，应有不同的岩溶发育条件和发育程度，在岩溶上有不同的表现，许多时候可以把多种因素统一考虑，作综合指标进行层组类型的划分。尽管目前层组类型划分的方案较多，但各种方案的划分目的则都是为了从岩性及其组合的角度，研究岩溶发育的难易程度，从而揭示岩溶的分布规律，由于各研究区的具体条件可能差异较大，故许多时候也不必按照同一标准进行层组类型划分。对煤矿床水文地质工作而言，只是重点和较详细地研究那些与矿床充水关系密切的层段。

2. 与灰岩出露状况及大气降水的关系

灰岩的出露状况是影响岩溶发育的又一重要因素。按照习惯的划分办法，可以把灰岩的出露状况划分为裸露、隐伏及埋藏等三种情况。裸露指的是灰岩直接出露于地表，没有或很少有其它岩层或堆积物覆盖；隐状则指灰岩伏于松散沉积物之下；埋藏则指灰岩为其它基岩所覆盖。一个灰岩连续分布地区或岩溶水盆地，其出露状况往往不只一种，并且在平面上呈现分区特征。灰岩的出露状况不同，岩溶发育的表现亦不相同。在灰岩含水层中，岩溶的发育往往受地下水的补给、径流、排泄条件的制约，补给、排泄条件好、径流强度大的地段通常岩溶发育的程度也高。在补给、径流和排泄三者关系中，补给常居于主导地位。有补给才会持续地产生径流与排泄，才会产生地下水的交替，才会不断地为地下水提供新的侵蚀性来源，溶蚀及其它相关的各种岩溶作用方能得以不断地进行下去。灰岩的出露状况不同，首先是影响到灰岩地下水的补给条件，影响到岩溶形态的特征。裸露区灰岩可以直接地得到地表水和大气降水的补给，常常形成岩溶地下水的补给区，在补给区地下水水位埋藏深度可能很大，且水位的季节性变幅也大，往往发育有许多近似垂直的溶

洞和裂隙。裸露区既可以是岩溶含水层的补给区，也可能是岩溶地下水的排泄区，在这种情况下这些地区一方面可能排泄从该裸露区段以外流入的地下水，又可能排泄就地补给的大气降水或地表水，如果整个灰岩含水层分布区主要是裸露区，则将以排泄区内就近补给的地下水为主。隐伏区内地下水的补给和排泄一般是通过上覆松散含水层来完成的，当上覆松散层底部为含水层，其上且无稳定的隔水层时，则岩溶含水层的补给条件较好；当松散覆盖层底部为弱透水层或隔水层，其上又有较稳定的隔水层时，岩溶含水层的补给条件差。在一般条件下，一个较大型的岩溶水系统，其隐伏区岩溶水的补给条件相对于裸露区已明显地减弱。埋藏区不能得到大气降水和地表水的直接补给，多处于岩溶水系统的径流区段，因径流强弱差异，而岩溶的发育方向和程度也往往不同，那些径流强、水交替条件较好的地段，溶蚀作用可以持续发育，而那些径流滞缓的地段，则可能产生碳酸盐矿物沉淀，原有的岩溶空隙可能在缓慢地消退。

一个岩溶水系统，可能既包括裸露区，又包含有隐伏区和埋藏区。补给区常以裸露区为主，隐伏区为次，裸露区面积越大，补给量也可能大。排泄区既可能是裸露区，也可能是隐伏区或埋藏区，排泄的方式也可能多种多样，可以以泉的方式，也可能顶托补给上部含水层（越流、天窗、断层等）。补给区水位深而变幅大，上部含水层段的水位通常高于下段，在排泄区则下部含水层段水位通常高于上部，水位变幅小而岩溶发育则比较集中。

降水是直接控制岩溶发育的一项特别重要的因素，它不仅控制着裸露区的地面岩溶发育状况，而且控制着岩溶水系统的补给和交替条件。水，特别是有侵蚀性水的存在是可溶岩岩溶发育的基本条件之一，降水量大的地区，为地下水的补给和交替提供了有利的条件，岩溶作用强烈，岩溶发育程度高；降水少的地区，地下水的补给和交替不利，岩溶发育则较弱。降水的方式和分配特征对岩溶发育有明显的影响，降雨较之于降雪则易形成对地下水的补给，尤其是夏季持续性的降雨往往对地下水的补给更为有利；降水的温度愈高，一般也愈有利于岩溶作用的发育。降水中的 CO_2 一方面来自于大气，另一方面则来自于土壤层。大气降水中 CO_2 的含量及降水的入渗过程，入渗地点中生物起源的 CO_2 含量将控制着地下水中侵蚀性 CO_2 的含量。包气带特征（厚度，岩性、结构等）则是控制降水入渗过程的重要因素。

3．与岩溶水的排泄基准面的关系

地下水的排泄和补给是地下水运动的必要条件，地下水流场受地下水的补给和排泄条件所控制。地下水的持续运动和交替使得岩溶能够持续发育。地下水的流场特征是决定岩溶发育特征的主要因素，补给区、排泄区、强径流区、弱径流区的方向和强度差别往往是十分明显的。在地下水流体系中，没有补给仅有排泄，或者仅有补给没有排泄，地下水的运动都难以为继，故排泄也如同补给一样是地下水持续运动的基本条件。地下水的排泄强度、排泄标高、排泄方式可能有多种，其中排泄基准面标高对于岩溶的发育有特别重要的意义：

(1) 补给区地下水位与排泄基准面间的标高差值，反映了地下水径流动力条件的好坏、岩溶含水层的导水能力、岩溶发育的程度。地下水的运动动力来自水头梯度，在其它条件相同的情况下，补给至排泄区水位差越大，则水头梯度越大，运动的动力条件越好，有利于地下水的径流，径流深度也可能较大。但是，在同一地区，在地下水运动过程中，对可溶岩的溶蚀结果，使岩溶发育，渗透能力增强，其结果将使补给区水位下降、补给区

和排泄区间的水头差及其间的水头梯度减少，故在岩溶化程度高，导水能力强的条件下，补给区至排泄区的水头差小，水头梯度也小，反之，导水能力差，岩溶发育程度也低。一个地区，补给区和排泄基准面水头差及径流水头梯度大小反映了岩溶发育的程度。同一地区，岩溶发育的结果必然导致地下水位向排泄基准面标高靠近，这是岩溶发育的一个总的趋势，从这个意义上讲可以把一个地区岩溶的发展进程分为青年、壮年和老年期，青年期岩溶补给区和排泄基准面间水位差大，水头梯度大，但岩溶化程度低，老年期则区内地下水位已接近于排泄基准面，岩溶化程度很高，但溶蚀作用将逐渐衰退，一个岩溶水系统从青年期至老年期构成了一个岩溶发育的循环

(2) 补给区至排泄区的距离，排泄基准面的位置，反映了地下水的径流长度和径流过程中岩溶作用的过程。补给区至排泄区的距离越大，则岩溶地下水的径流长度也大，在径流过程中岩溶作用的条件和类型也可能有相应的变化。例如，如果在承压地下水的径流过程中不能从外部得到新的侵蚀性 CO_2 的补给时，在径流沿途由于侵蚀性 CO_2 不断消耗，以及地下水的矿化度增高等原因，岩溶作用可能由溶蚀而转变为沉淀，特别是在泉的排泄口处将可能形成灰华等堆积物。

(3) 地下水在径流中总是选择那些能量损失最小的通道运动，而这种通道并非总是在浅部，只要深部有比较通畅的途径，地下水运动也会选择深部的通道。在径流长度大，补给区与排泄基准面标高差异大的情况下，地下水沿深部的通道运动的可能性一般也较大。

(4) 在一些以泉为主要排泄方式的岩溶水系统，从补给区至排泄区，岩溶发育则逐渐集中化，在大气降水补给区，岩溶比较分散，地表水渗漏补给区段，岩溶比较集中；在径流区则岩溶多集中发育于强径流地段；在排泄区，许多径流通道的水均向此汇聚，造成排泄基准面附近的岩溶化程度高、相同时期内，一个岩溶水系统可能只有一个排泄基准面，也可能不止一个排泄基准而，不同的地质历史时期则可能有多个排泄基准面。同一时期，如果具有多个排泄基准面，则可能存在不止一个的相对独立的地下水补给——径流一排泄体系；不同地质时期的不同的排泄基准面，则意味着岩溶发育有多期性，而在这些基准面对应的某些标高附近其岩溶的发育可能比较强烈

(5) 某些地区，地表水、大气降水、地下水间转化关系比较复杂，特别是在地表水与地下水转化比较频繁的地区，则可能存在某些局部地段的排泄基准面，这些排泄基准面的存在可能将岩溶系统划分成为不同的区段

岩溶地下水系统岩溶发育总的趋势，是使系统内各个地段上的地下水位标高向排泄基准面标高靠近，在其它条件相同的情况下，岩溶系统各地段水位标高与排泄基准面标高的差异状况，反映了岩溶化程度的高低，排泄基准面的特征及其变化对于岩溶发育规律有重要的影响，留有明显的印记

4. 与地壳运动的关系

岩溶是地质历史时期的产物，地壳运动是地质历史变异的主导因素，岩溶发育的历史与地壳运动的过程是息息相关的，地壳运动对岩溶发育的影响可以有许多方面，主要表现在：

(1) 在地壳上升时期，可溶岩或其上覆岩层遭受剥蚀，可溶岩埋藏变浅或出露于地表，给岩溶的发育创造了有利的条件，一个地区地壳的缓慢的持续上升有利于岩溶向深部的发育，常常给岩溶的发育带来新的活力。反之，在地壳下降时期，可溶岩埋藏变深或被

沉积物所覆盖，岩溶水的补给，径流、排泄变弱，岩溶发育变缓，或者从溶蚀作用转化为沉积作用，已形成的岩溶空隙可能逐渐地缓慢地消退。一个地区地壳长期地相对稳定往往会因岩溶的充分发育而形成岩溶夷平面，同时使得某些碳酸盐岩层中的石膏夹层大量地溶蚀，产生膏溶角砾灰岩，并常有大量的岩溶陷落柱产生，如我国北方的中奥陶统。

地壳的上升或下降，还改变着地下水的水化学环境和地下水的温度场状况，引起溶蚀作用的变化。

(2) 地壳运动比较强烈的时期，通常会产生许多断裂构造，形成断层与构造裂隙，为岩溶水的活动提供了许多新的通道，为溶蚀作用提供了许多空间场所，促使岩溶作用强化。地壳运动在坚硬的石灰岩中产生、贮存了许多构造应力，在某些地段形成超常压力，赋存于这些地段的地下水可以具有更大的活动，侵入一些细小的裂隙中去。

(3) 地壳运动往往改变了岩溶排泄基准面的位置或标高，地壳上升，排泄基准面抬升，下切能力增强，岩溶向深部发展；地壳下降，则反之。地壳的多次阶梯状上升或下降，也可能形成多个排泄基准面，可能形成多层岩溶景观，形成多次岩溶现象的叠加。地壳运动也可以通过改变岩溶地下水的排泄基准面，控制着岩溶发育的历史过程

(4) 地壳运动可以活化岩溶作用，可以重新启用那些废弃的岩溶通道。使已经形成的岩溶空隙上升到地下水位以上或者深埋于地下，成为古岩溶，使岩溶发育趋于滞缓，改变了岩溶发育条件和状态。

5. 与断裂构造关系

断裂构造是地壳运动的直接产物，是控制地下水系统和岩溶发育的基本因素，在岩溶发展过程中常常起到主导作用

(1) 断裂构造常常形成岩溶地下水系统的边界，或者将岩溶水系统分割成不同的块段，从宏观上控制了整个地下水流场的特征和分区

(2) 断裂构造常常形成岩溶地下水赋存和运动的空间。断裂构造破坏了可溶岩的完整性，在其影响范围内形成了许多有利于地下水活动的场所，常常是地下水的强径流地段，是岩溶作用集中发育的良好地带，岩溶的发育结果，又促进了地下水的循环，改善了其运动条件，导致更为强烈的岩溶化作用，是形成岩溶发育不均一性的主导因素。

(3) 断裂构造的生成是地质力学场的作用结果，在地质力学场的可溶岩中，断裂分布呈现出与力学场相适应的某种规律性断裂发育的基本规律则是决定可溶岩中岩溶发育规律的基本因素之一，研究岩溶发育规律的背景条件

(4) 断裂构造较可溶岩中其它成因的导水空隙往往具有切割深度大，连通性好的特点，故沿断裂带发育的岩溶深度也大，是形成深部岩溶的主导因素，从许多钻孔揭露的情况看，一些地区深部岩溶发育的地段，一般都是断裂带或与之相关的地段

(5) 构造断裂常常沟通了可溶岩系中不同层段或者可溶岩与其它非可溶岩含水层段的水力联系，成为地下水相互联系的通道，可以把一些相对独立的岩溶层段或单元连结起来成为一个较复杂的岩溶发育系统

(6) 断裂构造不仅是矿井突水的主要通道，而且在矿井充水的入工流场条件下，沿断裂带的岩溶作用得以激化，已经处于衰退阶段的岩溶作用可以重新强烈起来，已经被松散堆积物堵塞的某些断裂带中的堆积物可能被水流带走而使导水性得到改善，深部处于滞流状态下的地下水可能和浅部水沟通，使浅部水通过断裂在深部补给矿井，凡此种种在人工

地层系统					层段厚度(m)	主要岩性名称	柱状	层段	含(隔)水性
界	系	统	组	段					
下古生界	奥陶系 O	中奥陶统 O_2	平凉组 O_2p	第二段 O_2p^2	340±	白云岩 石灰岩		XI	弱央溶裂隙含水层段
				第一段 O_2^2p	80	板状白云质灰岩凝灰岩		X	相对隔水层段
			峰峰组 O_2f	第四段 O_2f^4	>300	石灰岩 白云质灰岩		IX	中等岩溶裂隙含水层段
				第三段 O_2f^3	132	灰质白云岩 白云岩		VIII	中等
				第二段 O_2f^2	10～150	石灰岩 白云质灰岩		VII	强岩溶裂隙含水层
				第一段 O_2f^1	56～132	泥灰岩 白云质灰岩		VI	弱含水
			上乌家沟组 O_2m_2	第三段 $O_2m_2^3$	33～74	泥灰岩 石灰岩			强岩溶裂隙含水层段
				第二段 $O_2m_2^2$	76～117	厚层白云岩		V	
				第一段 $O_2m_2^1$	30～81	灰质白云岩 泥灰岩		IV	相对隔水层段
			下乌家沟组 O_2m_1	第二段 $O_2m_1^2$	34～78	厚层灰岩夹泥灰岩		III	中等含水层段
				第一段 $O_2m_1^1$	16～30	泥灰岩 白云岩		II	相对隔水层段
		下奥陶统 O_1	治里亮里山 O_1	O_1l ～ O_1y	112～203	含燧石白云岩			弱岩溶裂隙含水层段
	寒武系 ϵ	上统 ϵ_3	凤山组	ϵ_3f	84.56	泥质白云岩			
			长山组	ϵ_3c	27.92	白云岩			
			岗山组	ϵ_3g	62.24	白云质灰岩			
		中统 ϵ_2	张夏组	ϵ_3zh	120.52	鲕状灰岩			
			徐庄组	ϵ_2x	140.73	泥岩 泥灰岩			
			毛庄组	ϵ_2m	21.66	粉砂岩 泥岩			
		下统 ϵ_1	馒头组	ϵ_1m	44.01	砂岩 泥灰岩		I	
太古界				Ars		花岗片麻岩		0	基底隔水层段

图3-1 渭北煤田岩溶含(隔)水层划分图

流场中的变化趋势，均将增强断裂在岩溶发展中的地位和在矿井充水中的作用。

(7) 一些深大断裂沿线常常有来自地壳深处的 CO_2，从而增强了岩溶地下水的溶蚀能力，断裂沿线也可能是地下热水赋存而活动的场所。

二、岩溶充水的主要特征

1. 岩溶充水的非均一性

岩溶含水层以顶底板突水、溃水、集中出水等形式向矿坑充水，无论在时间上和空间上的分布都是不均一的，而且充水强度也千差万别。开拓在灰岩含水层中的井巷，当它们没有揭穿岩溶水径流通道时，水量很小甚至无水，但是当遇到岩溶发育地段时，水量将突然变得很大，甚至超过矿井的排水能力而淹井。丰城云庄井田，开采二叠系乐平煤组，顶板长兴灰岩岩溶水是矿坑的主要充水水源，矿井开拓过程中将运输大巷直接开拓在长兴灰岩之中，共开拓巷道长度数百米，矿井中基本没水，但后来遇到了岩溶水流集中通道，瞬时水量达到 19482t/h，致使矿井被淹。在渭北煤田，中奥陶统灰岩厚度 520m 左右，可划分为 11 个层段（图 3-1），各层段中岩溶发育程度差异明显。奥陶系灰岩与煤系间，由东向西，其接触关系由平行不整合逐渐变为角度不整合，使得渭北各矿区的煤系与奥陶系灰岩的接触层位不同，在韩城矿区煤系主要与奥灰第 VI 段 O_2f^1 弱含水层段接触；澄合、蒲白与奥灰第 VII 段 O_2f^2 接触（岩溶裂隙含水段）；铜川则与 O_2f^4 岩溶裂隙含水段接触。因各矿区奥灰层位不一，充水特征亦有所不同，蒲白矿区马村矿在峰峰组第二段，+380m 标高以下的 700 余米巷道段计见出水点 36 处，主要沿 NWW 及 NEE 向大小不同的裂隙涌水，特点是随巷道延深，出水点增多，流量增大，下面有新出水点后，上部的老水点水

量逐渐变小，总涌水量约 114t/h；澄合矿区亦为峰峰组第二段，涌水量随巷道长度、深度的增加而增大，13 个出水点，裂隙多为近 EW 向及近 SN 向两组，单个裂隙宽 0.1～0.5m，最宽者可达 3m，为裂隙状溶洞，多呈充填或半充填，在奥灰顶面下 10m 左右（标高 +330m 附近），涌水量 150t/h 左右，在奥灰顶面上垂深 30m（标高 +315m），涌水量达 300t/h 以上，该矿区灰岩水总涌水量约 1300t/h；韩城桑树坪、马沟渠、象山三对井，在奥灰水位标高 380m 以下掘进灰岩巷道约 1400m，无论是峰峰第一段或上马家沟组第二段，往往掘进数百米，巷道均是干的或水量甚小，但遇裂隙带或小断裂便发生涌水，马沟渠在奥灰水位 380m 标高以下，掘进奥灰巷道 2000 余米，水量都很小，但 1976 年 8 月 6 日在 240m 标高主石门掘进头，先发现有黄泥水从裂隙孔眼涌出，继续打眼 1.0m 多不再出水，放炮后突然涌水，2 小时后淹没 240m 水平全部巷道，平均突水量达 5956t/h（突水点距奥灰顶面 150m）。该矿区三个矿井奥灰水总涌水量 7624t/h。在渭北，奥灰顶部一般有一充填带，发育在奥灰顶面以下 30m 以内，个别达 40m，充填带内古岩溶发育比较广泛，规模较大，充填物为煤系底部的铝土泥岩、石英砂岩等，充填密实，其下为岩溶裂隙发育带，裂隙多呈 NW、NE 向，发育规模和深度受构造控制，断裂附近深度大且富水性强。岩溶裂隙受新构造运动影响明显，袁家坡、温汤等地泉水水温 29～34℃，大荔育红、韩城青水钻孔水温 40℃ 左右，而当地年平均气温为 13℃，显然这些富水地段可能受构造所控制，推断与新构造活动有关。不直接揭穿溶洞、裂隙的矿井，同样也会因底板薄弱、断裂发育、水压过高或遇岩溶陷落柱，或者冒落裂隙带达到而产生大量突水、溃水，这样造成的淹井在岩溶充水矿井是屡见不鲜的。淄博北大井，底板突水水量达 443t/h，焦作演马庄达 320t/h。开滦范各庄矿在开采过程中曾遇到过 8 个岩溶陷落柱，但都基本无水或水量很小，但是当遇到第 9 个岩溶陷落柱时便发生了世界采矿史上的特大型突水，前 10 个小时内的平均突水量达到 2053t/h，使矿井迅速被淹，且威胁到邻近的矿井，由于岩溶陷落柱贯通了矿区内的各个含水层，因而使得全区各含水层的水位产生大幅度的下降。

岩溶充水的不均一性大量地表现在岩溶陷落柱和断层突水方面。在岩溶充水矿井中，多数突水都是遇断层或在断层附近发生的，特别是小断层在突水中有极为重要的地位。岩溶陷落柱突水在我国北方 CP煤田中有重要意义。

岩溶充水不均一性是岩溶充水矿床的一个普遍现象，在那些充水地段，多是一些岩溶含水层，岩溶比较发育，富水性较强，含水层与煤层间隔水层较薄，断层或裂隙发育的地段，当水头压力较高时，充水的可能性就更高，水量也大。研究岩溶含水层的岩溶发育状况，找出富水地段或强径流地带，控制煤层底（顶）板隔水层的厚度、岩性及其组合，查明断层、裂隙带、陷落柱，包括小构造的分布，观测水头压力能使矿井水害的防治工作主动和富有成效。

2. 岩溶发育的不均一性，在矿井充水中的利用

岩溶含水层向矿坑充水的不均一性，是岩溶发育的规律和岩溶在空间上的分布特征所决定的。当然，它们还与岩溶含水层（或岩溶富水带）与煤层间的隔水层特征（如厚度、岩性及其组合，受构造破坏状况等）有关，也与开拓方案有关。岩溶含水层富水性的不均一，一方面造成水文地质勘探和评价的难度增大，造成矿井防排水的被动局面，而另一方面如果能在矿床开采中有效地利用这种差异性，便能够使矿井的充水条件发生有利的改变，从而达到减少矿坑排水量、保证矿井安全正常生产的目的。要达到这种目的，必须查

清岩溶地下水的流场特征，研究岩溶含水层的富水性及其变化状况，找到那些岩溶比较发育的地段，特别强径流地带，并且把岩溶含水层的富水性、强径流带的分布和他们向矿坑充水的通道条件统一考虑，在矿井防治水工作中充分研究这些因素，采取合适的措施。为了使矿井的充水条件向有利的方向转化，一般可以考虑采取以下途径.

(1) 充分地利用含水层与煤层之间的隔水层、相对隔水层根据不同地段上煤层、隔水层、含水层的相互关系及组合特征而采用不同的办法。例如，底板突水取决于底部含水层的富水状况、水头压力、隔水层厚度及岩性组合、受构造破坏等综合因素，其中比较容易改变的是水头压力，其它因素则是相对固定的，、当水头压力降低到安全限度以内，突水的可能性也就很小了，尽管此时水头压力可仍然高于开采煤层的底板，但因为含水层与煤层间有隔水层的有效阻隔，其向矿坑充水的能力也无法得到发挥，在降压的情况下，万一发生意外突水，其水量也要小得多。这种办法也就是疏水降压、带压开采的办法。

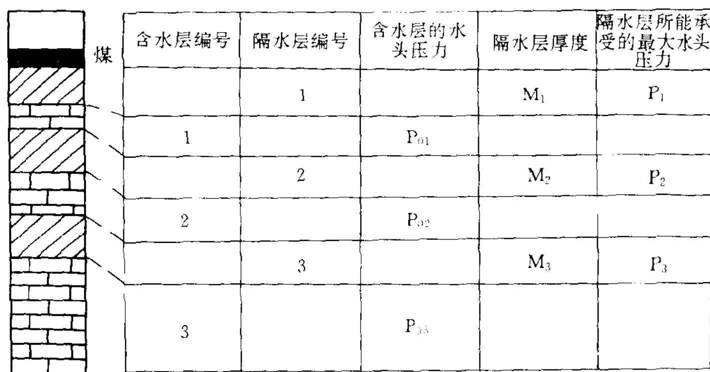
在有突水、溃水的地段留设保安煤柱或者人工加固顶底板，增加其隔水能力也是利用隔水层防水的一项有用措施，在水害分布比较局限的情况下，这种措施对于防止含水层向矿坑充水常是有效的。

(2) 利用弱含水层段疏水降压，达到降低水头避免突水和减少矿坑涌水量的目的。在煤层开采时，不仅可以利用隔水层而且还可以利用相对的弱含水层，尽管这种弱含水层本身的富水性可能还比较强，但是只要它的富水性比下伏的含水层（段）的富水性相对地弱，那么它就可以成为限制其下伏强含水层（段）向矿坑充水的重要因素，从而加以利用。

济宁矿区奥陶系灰岩（简称奥灰）总厚度 713.20m 其中，中奥陶统分为 3 组 6 段。第 6 段厚度 65.81～126.75m，平均厚度 92.78m；第 5 段厚度 104.75～127.3m ，平均厚度 113.59m；见第 6 段的钻孔漏水比率为 50%，见第 5 段的漏水比率为 82.4%；第 6 段的钻孔单位涌水量为 0.587～3.502L/s·m、第 5 段的钻孔单位涌水量为 2.488～8.721L/s·m，第 5 段的富水性明显地要较第 6 段为强。奥灰第 6 段距离可采煤层近，在济宁一区等地段常是太原统煤层开采时的直接充水含水层。第 5 段虽然富水性较第 6 段要强得多，两者之间水力联系也比较密切，天然条件下静止水位也基本相同，但是第 5 段与太原统煤层之间有第 6 段相隔，其向矿坑的充水能力受到第 6 段的导水性能所限制，不能充分地发挥出来。当矿井采用“疏水降压”方案开采时，如果同时疏排奥灰第 5 段和第 6 段的地下水，则矿坑排水量较大，而水头降低则较小，在经济技术上不合适；如果仅仅疏排奥灰第 6 段水，则疏排较小的水量，便可以大幅度地降低第 6 段的水头，使其比较容易地降低到安全水头值内，而避免第 6 段向矿坑突水此时尽管第 5 段仍然是第 6 段的补给水源，并且其间有较大的水位差存在，但是第 6 段已不能突水，则第 5 段也就下能向矿坑突水了，他只能补给第 6 段通过第 6 段向矿坑充水，此时矿坑的涌水量将主要地取决于第 6 段的导水能力了。在济宁一区专门水文地质勘探时，已经发现并证明了奥灰 5 段和 6 段在矿床充水中的不同作用，如许 1 号孔第一次只抽第 6 段水时，涌水量仅 13.66L/s，水位下降达 60.03m，第 6 段的观测孔 X_{6-5} 的水位也下降了 22.92m，当许 1 号孔抽第 6 段和第 5 段混合水时，涌水量为 14.01L/s，比第一次大但水位只下降了 38.35m、6 段的 X_{6-5} 号观测孔也只下降了 38.35m。从安全采矿的角度，疏水的目的是降压，只要压力能够降下来，从而消除突水威胁，则矿坑涌水量当然是越小越经济的，要达到减少矿坑量的目的，就要充

分利用相对的弱含水层，合理地选择疏水层位

（3）利用隔水层也同时利用弱含水层。经过概化后的图 3－2 可以说明这种方法的基本原理。图 3－2 中隔水层 1、2、3 的厚度分别为 M_1、M_2、M_3 ，它们所能承受的最大水头压力分别为 P_1、P_2、P_3； 含水层 1、2、3 的实际承压水头压力分别为 P_{01}、P_{02}、P_{03}，则在煤层开采之前，含水层 1 作用于隔水层 1 的水头压力为 P_{01} ，方向向上，它作用于底板隔水层 2 的力亦为 P_{01} ，方向向下；含水层 2 作用于顶板隔水层 2 的力为 P_{02} ，方向向上，它作用于底板隔水层 3 的力同样为 P_{02} ，方向向下；含水层 3 作用于顶板隔水层 3 的水头压力为 P_{03}。此时，隔水层 1 受到向上的水头压力 P_{01}；隔水层 2 受到的水头压力为 $P_{02}-P_{01}$ ，方向和水头压力高者一致；同理，隔水层 3 受的水头压力为 $P_{03}-P_{02}$ ，方向亦和水头压力高者一致。在自然条件下（开采前），以上整个体系受力处于平衡状态，其中 P_{01}、$P_{02}-P_{01}$、$P_{03}-P_{02}$均由上覆岩层的重导及联结力所平衡。



含水层编号	隔水层编号	含水层的水头压力	隔水层厚度	隔水层所能承受的最大水头压力
	1		M_1	P_1
1		P_{01}		
	2		M_2	P_2
2		P_{02}		
	3		M_3	P_3
3		P_{03}		

图 3－2 含水层、隔水层组合关系示意图

当煤层开采以后，在 $P_{01}>P_1$ 时，含水层 1 将突破隔水层 1 而突水。含水层 1 突水后，使 P_{01}迅速减少为 P_{01}'，使 $P_{02}-P_{01}'$值迅速增大；当 $P_{02}-P_{01}'>P_{02}$时，含水层 2 亦将被破坏随之产生突水，进而使$P_{03}-P_{02}'$迅速增大；当 $P_{03}-P_{02}'>P_3$ 时，含水层 3将突破隔水层 3而突水。故在图 3－2 所示剖面中，上部的含水层如果突水，则可能同时诱发其下部含水层突水，形成连锁式突水。当然，如果下部含水层的水头压力比其上部含水层的水头压力要高得多时，它可能直接破坏其上各隔水层而突水，同时诱发上部含水层向矿坑突水，但这种情况在采矿中较为少见，只是在矿井开采初期比较容易发生。

如果在煤层开采时，我们分别降低含水层 1、2、3 的水头压力，使：

含水层 1 的水头降低为 S_1，$S_1>P_{01}-P_1$；

含水层 2 的水头降低为 S_2，$S_2>(P_{02}-P_{01})+S_1-P_2$；

含水层 3 的水头降低为 S_3，$S_3>(P_{03}-P_{02})+S_2-P_3$。

则此时隔水层 1、2、3 均不致于受到水头压力而产生破坏，它们分担了自己所能承受的水头压力，共同地阻止地下水进人矿坑由于在很多矿区，含水层 1、2、3 的初始水头压力差别均较小，与 P_{01}值相比较可以忽略，则 $P_{02}-P_{01}$、$P_{03}-P_{02}$ 均为零，此时含水层 1 的降深 $S_1>P_{01}-P_1$，含水层 2 的降深 $S_2>S_1-P_2$，含水层 3 的降深 $S_3>S_2-P_3$ 即可。

要达到逐层降低各含水层水头的目的，应该首先疏排含水层 1 中的地下水，使其水头压力降低到安全水头限度之内，即 $S_1 > P_{01} - P_1$，由于含水层 2 和 3 与含水层 1 之间一般均存在着水力联系，含水层 1 的水头降低后，将引起含水层 2 和 3 的水头下降，当下降值分别大于 $S_1 - P_2$ 和 $S_2 - P_3$ 后，则达防止突水的目的，否则可继续加大含水层 1 的降深，必要时也可同时疏排含水层 2 中的地下水，其些情况下也可以直接疏排部分含水层 3 中的地下水，最终在剖面上形成水头的阶梯状下降状况，使各隔水层均合理地负担着各自所能负担的水头压力。在一些矿区如果能采用疏排结合的方式，则更易取得好的经济技术效益，可以在矿井中疏排含水层 1，同时在井下或地面开采含水层 3 中的地下水。

图 3－2 所示的含水层、隔水层间的组合情况，在我国煤矿中是一种普遍的情况，许多矿区都有类似的组合，如图 3－3～ 图 3－6。在我国北方地区石炭二叠系煤田，其基底为奥陶系灰岩，是区域强含水层，而石炭系太原组中常有数层至十余层薄层灰岩，它们的富水性较弱，但和奥陶系灰岩地下水间存在着密切的水力联系，奥陶系灰岩水要进入矿坑，一般情况下均要通过这些薄层灰岩，薄层灰岩突水可能诱发奥陶系灰岩突水，在下部煤层开采中，充分地利用这些含水性较弱的薄层灰岩和其间的隔水岩层是矿坑防治水和矿床水文地质评价的一条极为重要的原则。

(4) 排供结合，减少矿坑充水。在许多岩溶充水矿区，岩溶含水层既是矿坑充水的主要水源，又是矿区供水的主要取水对象，甚至是唯一的供水含水层。在这种情况下，把供水和排水作为一个系统工程来通盘考虑，合适的取水层位、取水工程位置和取水量，对提高矿井开采的安全性和减少地下水向矿坑充水水量，有相当积极的意义。如何使取水工程自身具有较好的经济效益，同时又能最大限度的减少矿坑充水水量，使取水工程和矿坑排水具有最佳的组合状态是排供结合的关键问题对矿床开采而言，减少矿坑充水量的关键之一是充分利用煤层与主要强充水含水层（段）间的隔水层、相对隔水层、相对弱含水层，而矿区供水的取水层位则是强含水层段。在一些矿区，煤层开采时矿坑的直接充水含水层（段）可能和供水含水层（段）是相同的，排供结合减少矿坑充水水量这是明白无误的。在另一些矿区，矿坑的直接充水含水层（段）和矿区的供水层（段）可能不一致，但排供结合仍能取得减少矿坑充水的明显效果。以前述济宁一区为例，对矿坑疏排地下水而言，以疏排距煤层近、含水较弱的奥灰第 6 段为宜，疏排第 6 段可以达到既降低了水头压力，保障了安全，同时又减少了矿坑充水水量的目的，但此时第 5 段水位和第 6 段水位形成有较明显的水位差，第 5 段地下水将不断地补给第 6 段。如果在矿坑疏排第 6 段地下水的同时在第 5 段开采地下水，便可以减少第 5 段对第 6 段的补给量，使疏水降压更为容易，也进一步减少了矿坑的疏排水量，提高了矿井的安全程度。即使是遇到较强的导水断裂可以将第 5 段的地下水直接导入矿坑，其水量也会大为减少，必要时还可以利用备用水源井以减少矿坑排水的暂时性压力，提高矿井抗灾能力。取水工程的布置既可以在地面，也可以放在井下，这应该从具体的水文地质条件分析考虑。

(5) 选择合适的开采方法和防治水措施。选择条带式开采、充填式采煤等方法以及减少开采工作面长度、减少分层采高等都有利于减少矿坑的充水水量。留设安全防水煤柱以及堵塞水流通道等许多主动的或被动的防治水措施都将改变矿床的充水条件，使其向有利方向转化。堵塞集中水流通道，在岩溶充水矿床中常常可以收到较好的效果。

在矿井防治水工作中，疏水降压、留防水煤柱、堵塞水流集中通道、加固隔水岩层底

地质时代 界	系	统	组	符号	组厚度	含水层及煤层名称	柱状 1:500	厚度 最小~最大/平均	层间距离	水文地质描述
新生界	第四系			Q	30~60	砂层及砂浆层			44.49	第四系砂层砂浆层,总厚2至7m,层位不稳定,含孔隙水,水位距地表为0.66~5.81m单位涌水量0.592~0.876m,下部含砾石的粘土层厚20~45m,为良好的隔含水
古生界	二叠系	下二叠	山西组	P_1		4			22.00	
	石炭系	上石炭	太原组	C_3	156.70	一层灰岩		0~2.50 / 2.28		
						6				
						7			51.28	
						8			56.50	
						9				
						10				二层灰岩厚度稳定,为裂隙喀斯特水,含水性较强
						11		1.99~3.56 / 2.60		
									17.02~27.00	
						12			22.83~50.54 / 25.37	
						三层灰岩		0~0.85 / 0.28		四层灰岩厚度稳定,裂隙洞穴发育为裂隙洞穴水,单位涌水量0.037~3.877 dm³/s·m,含水性中一井大于中二井,静水位标高+61m左右,含水性强
						四层灰岩		3.15~7.00 / 4.65		
						13			5.33~10.22 / 8.88	
						泥灰岩				14层孔顶板泥灰岩,厚度不稳定为0.9~3.14m,为裂隙水,单位涌水量0.34dm³/s·m,含水性弱
						14				
						15_1				
						15_2			21.56~29.57 / 24.68	五层灰岩厚度大而稳定,上距15层煤24.68m,间隔粘土质页岩、砂质页岩及砂岩,单位涌水量0.631~4.727dm³/s·m,含水性甚强,水位标高+61~62m
		中石炭	本溪组	C_2	34.40	五层灰岩		7.79~11.17 / 9.65	4.42	
						六层灰岩			7.59~8.5 / 8.04	奥陶系灰岩,裂隙洞穴发育,含水丰富,裂隙洞穴水,单位涌水量0.006~28.867 dm³/s·m,水位标高与五层岩相当,含水性西大东小,浅部大深部小,含水性悬殊较大
	奥陶系	中奥陶		Q		奥陶系石灰岩		1.26~1.67 / 1.42		

图3-3 肥城矿区综合柱状图

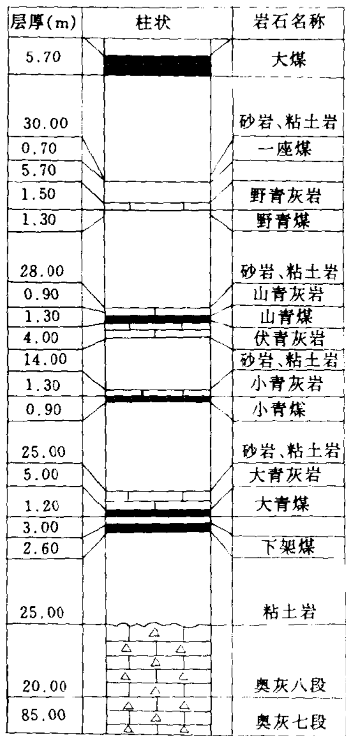


图 3－4　峰峰五矿柱状图

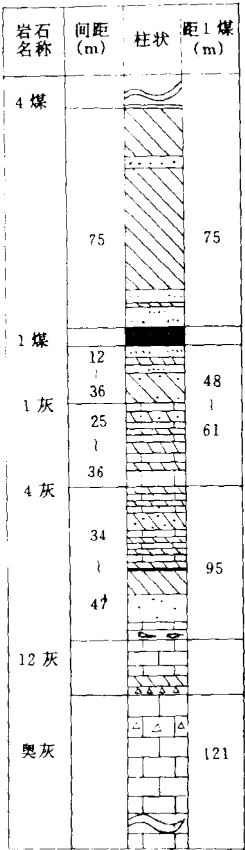


图 3－5　淮南颍桥地质柱状图

板、充分利用隔水层和相对弱含水层、采用排供结合等等都可以改变矿坑的充水条件，使其向有利的方向转化，但是往往要采取一些综合措施方能收到较好的经济效益。如对矿坑充水的集中地下水通道可以采用“堵”的办法以减少它向矿坑的充水量，但是在实际工作中并不能保证能把所有的集中水流通道都查出来并堵住，所以矿井还必须有足够的备用排水能力，而且万一发生突水，则还可以再进行堵水、

三、深部岩溶对煤矿开采的影响和深部岩溶的形成因素

1. 深部岩溶对煤矿开采的影响

已有大量的资料说明了浅部岩溶的可见率明显要较深部高，岩溶发育的强度和规模也要大得多，这使得以往有一些人认为岩溶只能在一定的深度发育，岩溶形态只在一定的标高以上分布。但是，随着地质勘探和采矿深度的增大，人们逐渐对这种观念提出了疑问，深部岩溶已引起了大家的关注

众所周知，开滦范各庄矿岩溶陷落柱突水，水量达 2053m^3/min，为世界采矿史上所罕见。该突水之陷落柱，顶面标高为 －2.90m，埋深为 320m，陷落柱高度为 294m． 底部

插入奥陶系灰岩深度约在 44m 以上，充填物比较疏松，且顶部有 5.2万 m^3 的空洞，为一现在仍在发育的活动性岩溶陷落柱，它表明了该地区岩溶发育的深度要超过 800m。河北煤田地质二队在北京西郊整形医院打一深井，该井深1617.3m，在井深 1300m 以下的奥陶系灰岩中打出了水温仅 12℃的低矿化度地下水，水量达 100t/h 在这么深的地方竟然打出了矿化度和温度都较低而水量较丰富的地下水，它意味着在深部仍然有岩溶发育，而且岩溶地下水还处于比较积极的交替之中。山东煤田地质公司在充西水源勘探中打过一个钻孔，孔深 930m，在该孔中进行了流量测井工作，结果在 815～852m 处仍发现有富水性较强的岩溶含水层存在，在降深仅 7.96m 时，水量达到 6.63L/h。合山矿区是我国南方的一个著名的岩溶大水矿区，该区有多个钻孔曾在很深的部位揭露岩溶现象，如 4020 孔，在埋深 767.96～774.21m 处，见有高 6.25m 的溶洞；2115 孔于深 800.89m 处见一 0.06m 的溶隙，于 834.67m 处见 0.15m 的溶洞；2416 号孔曾在孔深 829.9～1037.5m 钻进灰岩时、发现漏水，该矿区岩溶地下水水温可达 35℃，而地热增温率为 2.7℃/100m。从已有资料分析，岩溶地下水的循环深度可达 800m 以上。湖南斗笠山矿区 4604 孔，曾在标高 -831.53m 处见到了高度为 8.11m 的溶洞；桥头河 ZK315 孔在标高 -575m 处遇溶洞漏水。峰峰矿区鼓山以西，在钻孔中发现溶隙的标高达 -410m，断层带附近达 -560m；而在鼓山以东，钻孔中见溶隙的标高可达 -500m，断层带附近其标高低达 -750m。此外，在新郑和淮南等矿区，在石灰岩中均发现地下热水。表 3-1 和图 3-7 是一些岩溶充水的煤矿区在钻孔中所揭露的溶洞、溶蚀裂隙所达到的深度。这些深度已大大超过了所处水文地质单元中岩溶水的排泄基准面。

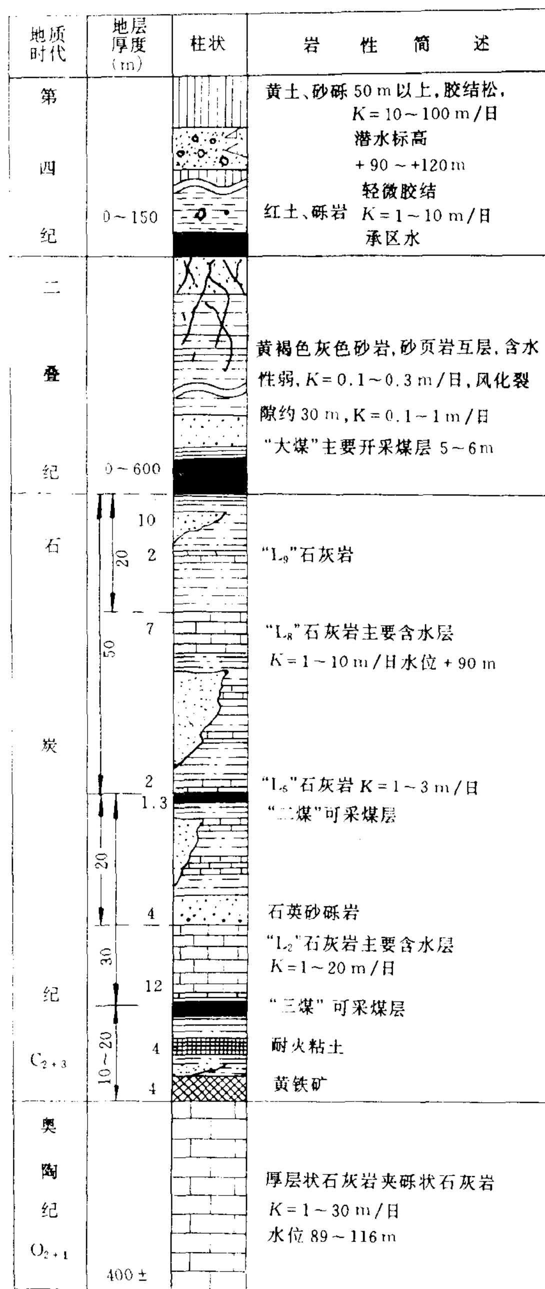


图3-6　焦作 煤田地层柱状图

以上只是列举了一些大家都熟悉的煤田勘探和煤矿开采中的例子。在石油及地热勘探中有更多更深的深部岩溶存在的例证，在冀中坳陷地区，施工钻孔在深部见灰岩时，钻具

表 3－1 中国北方深部岩溶垂向分带对比表

地区		渭北东部	太原兰村晋祠	阳泉娘子关	井陉威州	路城辛安	涉县东风湖	临城十股	焦作	峰峰黑龙洞	邢台百泉	枣庄	莱芜西尚	淮北	徐州	辽东半岛南部
排泄基准面（m）		+280	+810~+803	+360	+160	+428	+75	+95	+130	+60	+40	+170	+40		±0~±20	
岩溶垂向分带标高（m）	强岩溶带	+280~+100	+803~+550	+360~+200	+160~±0	+640~+500	+428~+300	+75~-100	+95~-200	+130~±0	+60~-200	+10~-125	+150~-100	+40~-200	-140以上	±0~100
	中等岩溶带	+100~-50	+550~+250	+200~-100	±0~-150	-100~-200	+500~+300	+300~+150	-100~-300	-200~-400	±0~-300	-200~-400	-125~-200	-100~-250	-200~-100	-140~-310
	弱岩溶带	-50~-100	+250~-100		-150以下	+300~+100	+150~±0	-300~-500	-400~-600	-300~-650	-400~-750	-200以下	-250~340	-400~-600	-310以下	-200~-300
	极弱岩溶带	-100以下	-100以下	-100以下		+100以下	±0以下	-500以下	-600以下	-650以下	-750以下		-340以下	-600以下		-300以下

放空和泥浆漏失现象普遍，其中钻具放空长度大于 1m 的有 9 孔，漏失量大于 $300m^3$，漏速＞$100m^3/h$；有 11 孔钻具放空长度＜1m，漏失量 50～$300m^3$，漏速 10～$100m^3/h$；霸 8 井打到 2700m 雾迷山组灰岩时，钻具曾放空 6.46m。该区统计溶洞裂隙率高达 3%～6.5%，相距 2～6km 甚至十几公里的油井、水井在淌水采油过程中，常有严重的串水和明显的压力传导现象，溶洞和溶蚀裂隙的连通性较好。在塌陷区古岩溶可深达 3000～4000m。

虽然由于勘探和矿床开采深度和限制，对更深的岩溶发育缺乏更多的资料，但已有资料已经表明，在很深的地方仍然有岩溶存在，未曾发现岩溶发育的深度极限。笔者综合分析许多资料后，认为岩溶发育深度只能受到可溶岩底板深度所限制，而其它各种因素只是影响岩溶发育的强度和其它特征，但不足以使深部不出现岩溶现象。从道理上讲，只要岩溶含水层的补给区至排泄区有水位差存在，那么从补给区到排泄区地下水的通道便可能有多个，地下水优先选择那些能量损失最小的通道运动，这些通道并非都是那些地下水运移距离最小的通道，这些通道也并非都是在岩溶含水层的浅部。只要深部有较通畅的通道，岩溶地下水从补给区向排泄区的运动便不会受到某一深度的限制。同时，只要含水层能获得补给，那么从补给区至排泄区便必然地产生水位差，这是一个普遍的现象。

2. 深部岩溶的形成因素

1）构造运动是深部岩溶存在的主导因素

（1）在岩溶发育过程中，构造活动可能影响多个不同标高的岩溶地下水排泄基准面。

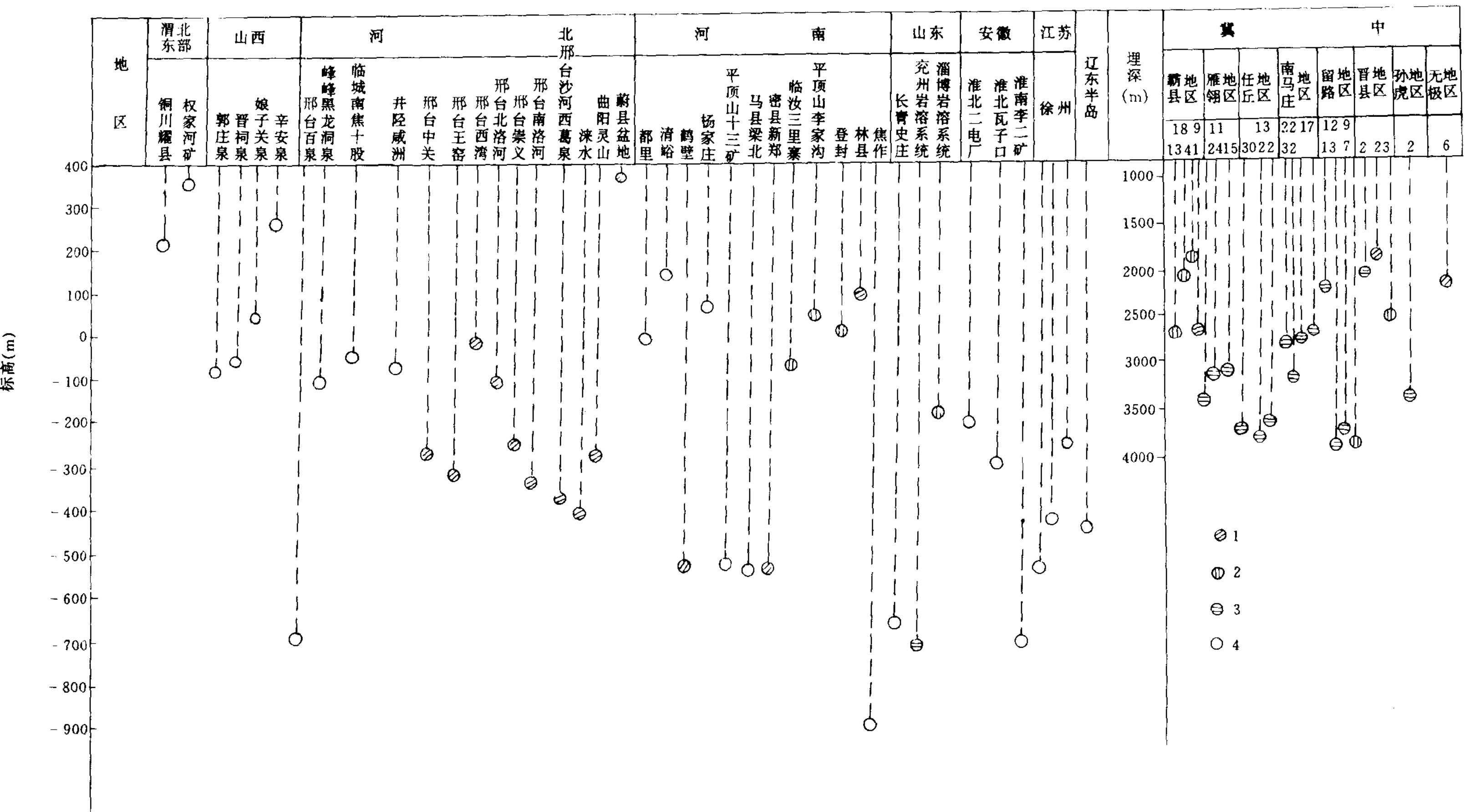


图3－7　中国北方深部岩溶垂向分布图

1－奥陶系中溶洞；2－寒武系中溶洞；3－中、上元古界中溶洞；4－溶洞（时代不明）

在某种意义上，岩溶地下水的径流深度和排泄基准面的标高是两个不同概念，两个具有相同排泄标高的岩溶含水层，可能具有相当不同的循环深度；同一岩溶含水层也可能具有几个不同标高的排泄点；地下水沿一条断层可以先作深循环然后进行排泄，其循环深度主要取决于断层发育的深度和其它特征，而一般不取决于地下水排泄基准面究竟在什么标高上。虽然如此，岩溶地下水的排泄基准面还是和岩溶发育深度存在着某种相互协调的关系。一般来说，在大中型岩溶水盆地中，补给区至排泄区距离愈远，补给区岩溶地下水位和排泄基准面的高差愈大，则岩溶发育的深度也可能愈大，同时，排泄基准面的标高也控制着岩溶作用强度和岩溶形态分布特征但是，这种排泄基准面在事实上只能在某一个有限的时段内是相对稳定的。由于地壳运动或其它原因，必然会导致排泄基准面的改变、在岩溶发育历史中存在着多个高度不同的排泄基准面这已为大家所公认。由于排泄基准面的变化，必然引起与其相关联的岩溶地下水通道系统的改变，变浅或者加深。

(2) 构造断裂活动是造成岩溶地下水深径流的条件。岩溶地下水排泄基准面标高只是决定地下水循环深度的因素之一，地下水实际循环深度取决于在深部有没有径流通道发育以及这种通道发育的深度和通畅程度构造运动所产生的断层和裂隙便是形成地下水深部径流通道的关键原因。岩溶是沿着可溶岩中原有的或者与岩溶作用同时产生的各种空隙发育的，这些空隙既可以是成岩时产生的晶隙、裂隙、孔洞，也可能是风化裂隙和构造裂隙。风化作用形成的空隙只是在一定的深度之内，成岩空隙在成岩之后也缺乏再生的条件，只有构造裂隙是可以重新形成的而且在每经历一次构造运动之后，必然有一些新的断层和裂隙产生，这些新的断裂构造便成为地下水的新的通道每一次构造运动不仅产生新的断裂导水系统，同时也必然对原有的地下水流场及地下水的导水空间系统进行改造，使某些“死”通道复活

(3) 地壳上升可以促使岩溶向深部发展，而地壳下降则使浅部岩溶可以转化为深部岩溶并表现出某些继承性。一次地壳上升运动，可能迫使原有的系统可深部发展，而新产生的构造断裂便形成导水系统中新的水流通道同时，地壳的上升也可能导致可溶岩或其上覆岩层遭到剥蚀，也可能使可溶岩再次遭受风化而形成风化裂隙，导致岩溶发育条件改善，使岩溶现象重新活跃起来。

每一次地壳下降，沉积作用发育的结果也使得原来在浅部发育的岩溶深埋于地下，这些深埋的岩溶空洞，有些消退了，充填而成为“死”岩溶，有的继续发育形成继承性岩溶，成为深部岩溶形成的又一普遍原因在地壳下降接受沉积的过程中，可能堵塞了部分岩溶空洞和地下水流的通道，其中最易堵塞的当然是浅部的那些大型溶洞、暗河及地表的各种岩溶空洞。随着可溶岩上覆的沉积物厚度的增加也使得洞穴顶部岩层的负重增加，产生坍塌的可能性增加，特别是在沉积过程中以及沉积后的构造运动之中，这些空洞通常将造成构造应力集中，更易产生坍塌，使上部岩层塌入下部空洞之中、在我国北方许多岩溶矿区，常可见到岩溶陷落柱，这种岩溶陷落柱对煤矿的正常开采经常造成危害，某些岩溶陷落柱还可能成为煤层底部奥陶系灰岩岩溶水突入矿坑的通道在煤矿开采中，所见陷落柱的充填物一般均为上部煤系的坍塌堆积，杂乱无章，但多数比较密实，说明了陷落柱的形成是在煤系沉积以前岩溶充分发育的基础上，在石炭二叠纪煤系形成过程中逐步完成的，特别是在上覆岩层厚度较大而成岩程度不很高的时期应是岩溶陷落柱形成的高峰期在煤系的沉积过程中，发生了频繁的地壳振荡运动（表现为海陆交互相及过渡相的沉积广

泛发育），地下水位的频繁升降变化和海陆变迁，促进了岩溶陷落柱的发育。与此同时，在奥陶系灰岩中的石膏层的大量溶蚀以及由此而产生的覆岩塌陷也是岩溶陷落柱形成的一个重要因素。有很少的岩溶陷落柱直到新生代仍处于活动状态，但这多与新的构造运动有关，如开滦范各庄矿突水之陷落柱。

华北地区寒武奥陶系灰岩生成以后，地壳整体上升，一直到中石炭世时才开始接受沉积。由于本区长期未接受沉积，因而岩溶作用得以长期地持续发展，形成了北方岩溶发育的基本格局。在本溪组及煤系沉积过程中地壳运动仍保持较强的整体性，故岩溶发育表现出明显的继承性。在广大盆地中，一方面接受沉积，一方面仍然为地下水的汇集和排泄区，岩溶得以持续发展。在石炭二叠纪煤系沉积以后，盆地基底灰岩的岩溶发育仍保持了明显的继承性，灰岩的裸露区为补给区，沉积盆地内继续为岩溶地下水的径流、排泄区，而煤田则多处于地下水的径流区内在灰岩裸露区，由于长期接受大气降水、地表水的补给，而且地下水在大范围内作较深的径流运动，故补给区水位很深，常达数百米，特别是在新构造时期处于相对上升的太行山地区、在石炭二叠纪煤系沉积过程中，奥陶系灰岩浅部岩溶空隙大量地被充填，使得浅部原有的水流通道大量被堵塞，迫使水流去选择许多新的通道，而此后的各期构造运动便为这种选择提供了可能，新的构造断裂（断层和裂隙系统）便成为主要的导水体系，使得北方岩溶地下水成为以溶蚀裂隙为主的岩溶水系统，尽管不排除在某些地区有溶洞存在，但是这些溶洞在导水系统中不起主导作用。

下二叠统茅口灰岩为我国南方的区域性强含水层、它们在形成以后，较快地接受了晚二叠世龙潭煤系或峨嵋山玄武岩的沉积、此后，在接受沉积的地区与裸露区之间的岩溶发育，便产生了强烈的分化，形成了明显的差异在沉积区岩溶发育具有明显的选择性，在那些地下径流可以继续下去的地段，岩溶作用得以持续进行，但是强度已大为减弱，地下水流的通道除了那些未被堵塞的继承性通道以外，主要是以后历次构造运动产生的新的断裂系统。在灰岩裸露区，岩溶长期地强烈地发育着，形成了许多大型溶洞及暗河，地下暗河一经形成，岩溶发育的差异性便更趋强烈，浅部地下水的循环条件变得更好，而深部水的循环条件则相对地进一步削弱，岩溶向深部的发育受到了明显的减弱，在江西，湖南等省的一些煤矿区，由于强烈差异性溶蚀的结果，常在灰岩裸露地段形成深谷低地，而在煤系出露地段形成低山地貌。这种岩溶负地形一旦形成，其地表水和地下水的汇集条件更好，反过来又加剧了岩溶发育的差异状况，使得许多矿区浅部和深部的矿床水文地质条件差别甚大，使得某些岩溶充水矿区浅部虽然有流量较大的地下暗河存在，但是深部仍能正常开采，深部含水空间仍常以溶蚀裂隙为主，矿井水量虽较大，但可以正常开采。总的说来，尽管浅部和深部岩溶发育有强烈的差异，但深部岩溶仍在一定的条件下存在和发育着，其主导因素仍然是构造运动，它产生了新的导水断层或裂隙系统，也使在煤系沉积以前形成的岩溶空洞沉降到深部。

（4）构造应力场的存在与变化也是形成深部岩溶的重要原因构造运动不仅可以直接产生断层裂隙，而且构造运动所形成的应力场对岩溶的发育也产生着积极的作用。在应力场中张应力集中的地段，经常为地下水渗入岩石中的各种空隙提供了有利的条件，在地下水和构造应力的共同作用下，岩溶作用的速度当然会是更快的。背斜轴部等地段由于裂隙比较发育，在地应力场中的张应力比较集中，因而为岩溶的发育提供了较好的条件。在地质历史中，构造应力场的变化必然要使得岩层中的应力状态产生相应的变化，岩层的骨架

和赋存于岩层中的水在应力场的变化过程中有不同的表现，在许多情况下岩层的固体骨架中通常以其间各部分的相对位移（断层、裂隙、层面及晶面滑动等等）来适应这种应力场的变化，并保留部分弹性变形和残余构造应力。但是，赋存于岩层空隙中的水在应力场的变化中却处于相当积极的状态，它有两个明显的特点，一个是不可压缩性和流动性，另一滚是可以按照帕斯卡定律所描述的压力传递方式传递压力变化。因为赋存于岩层空隙中的地下水虽然通常处于连通状态，但是其连通性和渗透能力是有限的，在构造应力场很缓慢的变化过程中，地下水对新应力场的适应可以通过地下水的流动和含水空间的调整来完成，但是在应力场变化比较迅速的情况下，地下水不能很快地流动，又不能明显地压缩，此刻则易形成局部高压区（或负压区），使得地下水“挤”入岩层中的一些微小空隙并使它们扩大，成为地下水新的赋存和运动空间，也为岩溶作用提供了新的场所。

2）岩溶作用的广泛性是深部岩溶存在的重要原因

人们早就注意到，岩溶作用广泛地存在于各种条件之下，只要有可溶岩类存在，总会同时存在岩溶作用和现象的。不仅在地下水的积极循环带内，而且在地下水位以上或地下水的滞流带内；不仅在气候潮湿地区，而且在冰雪封冻地带，在沙漠地带也都有岩溶发育，只是岩溶的作用方式、强度不同而已。各种可溶岩类均是地质历史时期的产物，在其成岩过程中和成岩以后均经历了不同的岩溶过程，我们现在看到的各种可溶岩层，均有其自身的岩溶发展历史和特点。

当可溶岩处于地下水位以上时，凝结溶蚀和大气降水的溶蚀、冲刷作用同时存在。凝结溶蚀作用以凝结一溶蚀一再凝结的反复过程不断地重复进行，特别是干旱半干旱地区，这种方式具有相当明显的地位。而水和融雪对溶蚀残余物的冲刷常常加剧着凝结溶蚀作用的进行。当可溶岩处于水的积极交替带时，通常是岩溶发育的有利时期。然而即使可溶岩深埋于地下，在径流比较微弱的情况下，溶蚀作用也经常可以发生，此时扩散溶蚀和混合溶蚀方式便是二种主要的岩溶作用方式。实际上，对于一个岩溶地下水系统而言，只要该系统的压力、温度或地应力场产生变化，或是其补给、排泄条件产生变化（包括动态变化）时，岩溶水系统内将引起岩溶作用，或产生溶蚀，或形成沉淀，或者在某些地方溶蚀，同时在另一些地方沉淀。在岩溶发育过程中，岩溶地下水的通道系统也处于发展变化之中，有的水流通道被废弃了，有的通道可能被重新启用，新的通道则可能通过构造断裂活动或其它作用不断地形成。在岩溶发育过程中，“改道”现象在岩溶水流系统中是经常发生的，例如，在枯季河流排泄地下水时，堵塞通道的情况较少发生，但是河水在洪水季节补给地下水时，水中大量的泥砂便会堵塞某一些岩溶水通道；而当第二个枯水期时，地下水便会寻求某些新的通道向河水排泄。岩溶水流通道系统的不断发展变化也是造成岩溶广泛分布的原因之一。

以上讨论说明了尽管可溶岩的岩性组成、结构以及生成后的地质经历可能千差万别，但是它们都经历了不同的岩溶作用，带有各种岩溶作用的“烙印”。可溶岩都有着自己的溶蚀历史，使得我们在今天存在于岩石圈中的可溶岩内部都可以发现千差万别的、形态各异的岩溶景观和现象。就华北地区而论，中奥陶统总厚度约 600m 左右，可以划分为三组八段，其中有三个含水层组和三个相对隔水层组，尽管地层厚度很大，岩性组合也比较复杂，各岩层的成因、岩性特征、岩石结构相差悬殊，但是无论是含水层组还是相对隔水层组都同样地可以发现许多岩溶现象（表 3－2)。在含水层组中，其岩性组成主要为石灰

岩、白云岩质灰岩、白云岩，而岩溶形态以溶蚀裂隙为主，也发育有较多的溶洞（特别是浅部地带）；在中奥陶统中 O_2^{3-1}、O_2^{2-1}、O_2^{1-1}岩段，泥质含量均较高，是区域性的相对隔水层段，但是在这些层位中仍然可以看到许多岩溶孔洞，特别是直径小于 2cm 的溶孔广泛发育，尤以蜂窝状白云岩中的溶孔最为典型。在蜂窝状白云岩中溶孔分布比较均一，其发育程度一般与岩石赋存深度及地下水循环条件无明显关系，溶孔之间的连通性也很差，在一些角砾状灰岩、角砾泥灰岩中，许多溶孔仅发育在角砾之中，而胶结物中则无溶孔发育。这些特点说明了这些溶孔的生成主要是一种古岩溶现象，它的生成与扩散溶蚀作用和凝结溶蚀作用有密切的关系，当然，在断裂带处也分布着一些后期生成的溶孔。

表 3-2　北方中奥陶统岩性特征及岩溶发育状况

组	地层代号	厚度(m)	岩性特征	含、隔水层	岩溶发育状况
峰峰组	O_2^{3-3}	5～26	中厚层白云质角砾状灰岩、薄层灰岩夹砾状灰岩	较强含水层	溶蚀裂隙为主，地表及浅部有少量溶洞。顶部岩溶部分被充填
	O_2^{3-2}	61～106	上、中部为浅灰色中厚层灰岩与花斑灰岩互层；下部为灰色巨厚层致密灰岩	最强含水层	溶蚀裂隙十分发育，地表及浅部有溶洞分布，溶洞呈裂隙状
	O_2^{3-1}	33～65	灰黄、土黄色角砾泥灰岩、蜂窝状石灰岩、蜂窝状白云岩夹泥岩、薄层灰岩及脉状石膏	相对隔水层	蜂窝状溶孔十分发育，局部地段有溶蚀裂隙
上马家沟组	O_2^{2-3}	46～102	上、中部为浅灰色花斑灰岩、致密灰岩、白云质灰岩、夹少量泥灰岩；下部为角砾状灰岩、白云质角砾状灰岩，局部夹石膏	强含水层	溶蚀裂隙发育，地表及浅部有少量溶洞分布
	O_2^{2-2}	81～164	灰色、深灰色中厚层，厚层灰岩与花斑灰岩互层，局部夹白云质角砾状灰岩	次强含水层	溶蚀裂隙为主
	O_2^{2-1}	26～63	白云质角砾状灰岩、角砾泥灰岩、蜂窝状白云质灰岩、蜂窝状石灰岩夹白云质灰岩及薄层灰岩，局部夹石膏层	相对隔水层	蜂窝状溶孔为主，分布普遍
下马家沟组	O_2^{1-2}	99～148	上、中部为深灰色致密灰岩与花斑灰岩薄互层；下部为厚层白云质灰岩、致密灰岩夹薄层泥灰岩	强含水层	溶蚀裂隙发育
	O_2^{1-1}	17～46	灰、深灰色泥质角砾灰岩、灰黄色角砾泥灰岩夹蜂窝状白云质灰岩和钙质泥岩	相对隔水层	蜂窝状溶孔分布比较普遍
	$O_2^{1\ 0}$	约 20	即“贾汪页岩”薄层白云质灰岩、泥质白云岩、片状泥岩及黄色角砾灰岩，底部为砂岩	隔水层	岩溶不太发育，有少量溶孔

综上所述，由于地壳上部一定范围内，构造断裂发育的深度不会限制于某一标高以上，这就形成了岩溶发育也不会完全停止于某一个标高的前提条件，凡是有构造运动影响，有可能产生断层和裂隙的深度内，就可能有岩溶作用随之发生；地应力场及其变化也

常常有利于岩溶作用在深部的发育；由于岩溶作用的普遍存在，使得自然界中的各种可溶岩普遍经历过岩溶化作用（尽管作用方式、强度可能千差万别，岩溶现象也可能大不相同），这些岩层在以后的地壳运动中既可能上升到地表又可以沉降到地下很深的地方，那些原来位于浅部的岩溶下沉到深部后，它们中的一部分往往在一定的条件下还可以持续地发育下去，表现出一定的继承性。这种岩溶发育的继承性质使一些岩溶作用得以长时期地在不同的条件下持续发育；即使在岩溶发育已经停滞的地段上，已有的岩溶空洞也可以在一定的地质一水文地质条件下长期地得到保存，在某些条件下虽然可能逐渐消亡，而在另一些条件下可以重新活化。从总体上讲，尽管浅部的岩溶作用一般要比深部强烈，岩溶形态的分布也要比深部广泛得多，但这些并不能排除很深的地方仍然存在着岩溶作用和岩溶现象。深部岩溶的存在，对岩溶充水矿床的开采有重要的意义。在岩溶充水矿床中，虽然矿井浅部涌水量一般也比较大，深部矿井涌水量可能较少，但是深部水头压力通常较高，遇到岩溶发育地段时，也可能造成大量的突水，甚至发生淹井事故。在自然状态下，某些深部岩溶水可能处于停滞状态或者深部岩溶已处于消退状态，但是只要深部岩溶与浅部岩溶之间保持一定的连通性，当矿井揭露或岩溶水突破顶底板时，均可能导致大量的地下水进入矿坑，同时使得原有的通道部分重新活化。由于深部岩溶的存在多受各时期特别是近期构造条件所控制，故开采深部煤层时，要特别注意断层、陷落柱突水。研究直接充水含水层的岩溶发展历史、岩溶的分布及其继承性表现，研究矿区构造特征及断裂是矿区防治水的必要工作。

第二节　　裂隙含水层充水特征

裂隙充水煤矿床的主要直接充水含水层为裂隙含水层（或含水带）。组成裂隙含水层的岩石性质一般为坚硬或半坚硬岩石；在西北区的一些早侏罗世煤田中还广泛分布有“烧变岩”，也形成一种特殊的裂隙含水层。

一、坚硬及半坚硬裂隙含水层充水特征

裂隙含水层的充水特征，取决于裂隙的发育程度以及裂隙的成因和性质。坚硬及半坚硬岩石是裂隙发育的物质基础；成岩作用、构造作用及风化作用是形成裂隙的作用力；岩石的埋藏深度及上覆岩层的静压力则是裂隙发育的环境条件。岩性愈脆硬，形成裂隙的作用力愈强，埋藏愈浅，则裂隙愈发育；反之，则愈弱。

不同成因的裂隙具有不同的分布特征：成岩裂隙在同一岩层中分布比较均匀，但随着岩石性质的不同而有所差异，一般在火成岩中发育较显著（玄武岩中的柱状节理）。构造裂隙发育深度较大，能穿越不同岩层，且有一定的方向性和方向组合。断层、构造裂隙在平面上和剖面上均呈带状分布，且一般发育较剧，往往能形成较强的含水带或导水带，并能勾通各含水层间的水力联系；区域构造裂隙则比较均匀地分布于各种岩层中，尤以坚硬脆性岩层中发育较剧。风化裂隙是各种外营力综合作用所形成。这些外营力主要包括地球表面的物理与化学风化作用，地下水的溶蚀与冲刷作用及由深至浅的减压作用。这些作用交织在一起，不仅能使岩石原有的成岩裂隙、构造裂隙进一步扩大，而且还能在浅部岩石中产生一些新的裂隙。无论原有裂隙的扩大或新裂隙的产生，都是埋藏愈浅愈强，愈深则

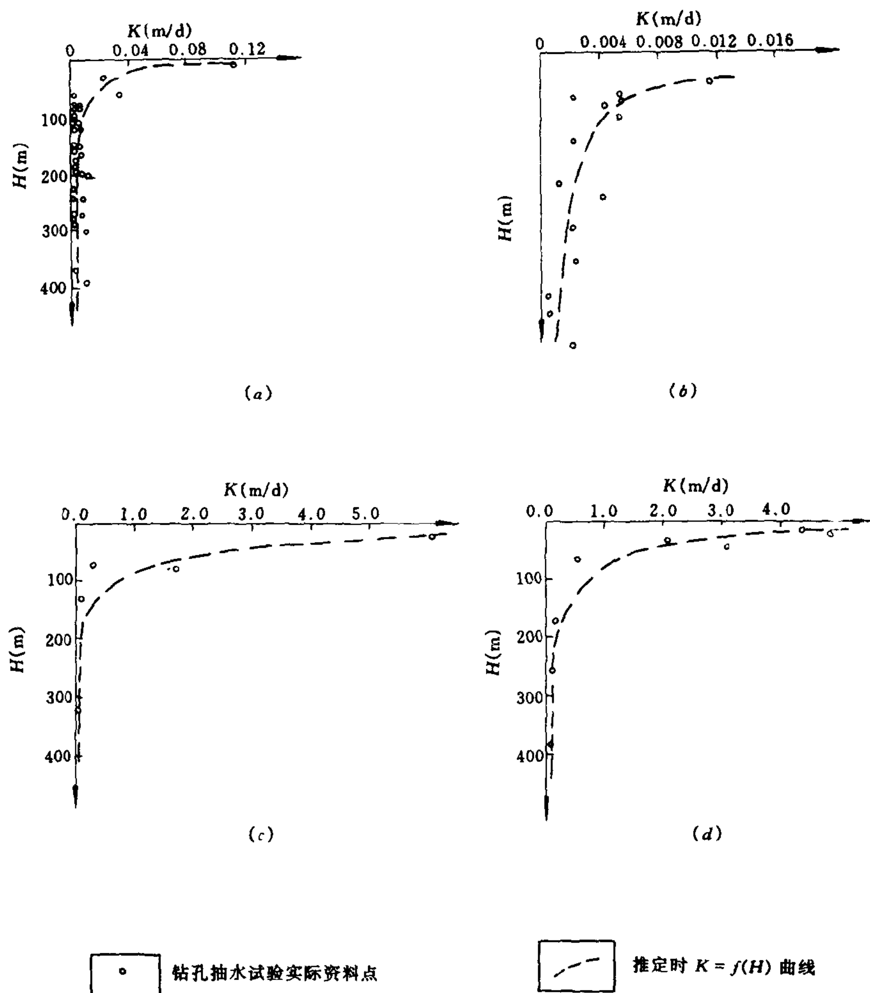


图 3-8 以裂隙充水为主的煤田岩层渗透系数与埋藏深度的关系曲线图

a－浑江煤田（（c－P)；*b*－杉松岗煤田（J_1)；

c－蛟河煤田（J_3)；*d*－扎赉诺尔煤田（J_3-K_1)

愈弱。因此，所有裂隙含水层都遵循着一条共同规律：其含水性与导水性随着埋藏深度的增大而减弱。许多以裂隙充水为主的煤矿区的实际资料都清楚地证明了这一点。

从东北区及内蒙古北部地区的一些以裂隙充水为主的煤田抽水试验资料统计可知：这些煤田的岩层渗透系数或钻孔单位涌水量，随着埋藏深度的增大而呈负指数曲线减小（图 3-8、图 3-9及图 3-10)。

煤田勘探时的钻孔简易水文地质观测资料，同样显示出岩层渗透性能随着埋藏深度的增大而减小的这一规律（图 3-11、图 3-12)。

以裂隙充水为主的矿井，其涌水量的增长也一般是随着开采深度的增大而显著减小（图 3-13)。

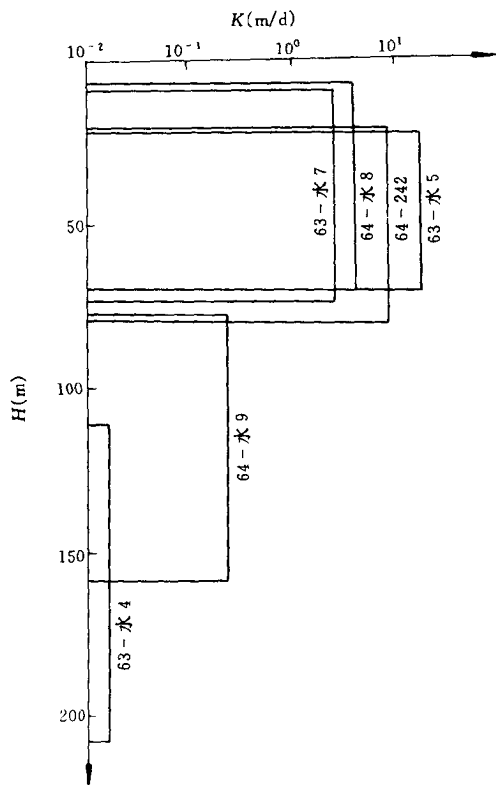


图3－9 勃利煤田32－33煤间岩层渗透系数与埋藏深度的关系

在东北地区以裂隙充水为主的煤田中，岩层渗透性能随着埋藏深度的增大而减小的规律的显著性，远远超过岩石粒度组成对渗透性能的影响（图3－14、图3－15）。常形成横跨各种岩层的垂直分带（图3－16）。

大同矿区是开采侏罗纪煤田的特大型矿区，裂隙充水为主，其矿井涌水量一般不随开采深度的增大而增大，而主要与上覆含水层富水性，采动裂隙带的发育特征，降水的补给条件有关，本区断裂不发育、含水层富水性弱，在开采浅部煤层而疏干了上部含水层的情况下，开采深部煤层时，涌水量还可能变小，如挖金湾矿时，1978年矿井涌水量为 $0.035m^3/min$，1988年为 $0.031m^3/min$。

以裂隙充水为主的煤田中岩层渗透性能随着埋藏深度的增大而减小的规律，是与岩石的裂隙发育程度随着埋藏深度的增大而减少的规律相适应的。这一点，可从图3－17所示的各煤田勘探钻孔冲洗液消耗量及岩心采取率与钻进深度的关系中获得佐证。钻孔冲洗消耗量是岩层渗透系数的函数；而岩心采取率则是岩石裂隙率的间接指标。

形成这种垂直分带的原因，主要有如下三点：

(1) 各种外营力的作用，首先是大的气候周期中温度变化的作用。例如冰期与间冰期的交替，使岩层反复经历着冻结与融解，必然会使岩石原有的构造裂隙及成岩裂隙进一步扩大，并产生一些新的裂隙。这种作用是随着埋藏深度的增大而减小的。大家已经公认，

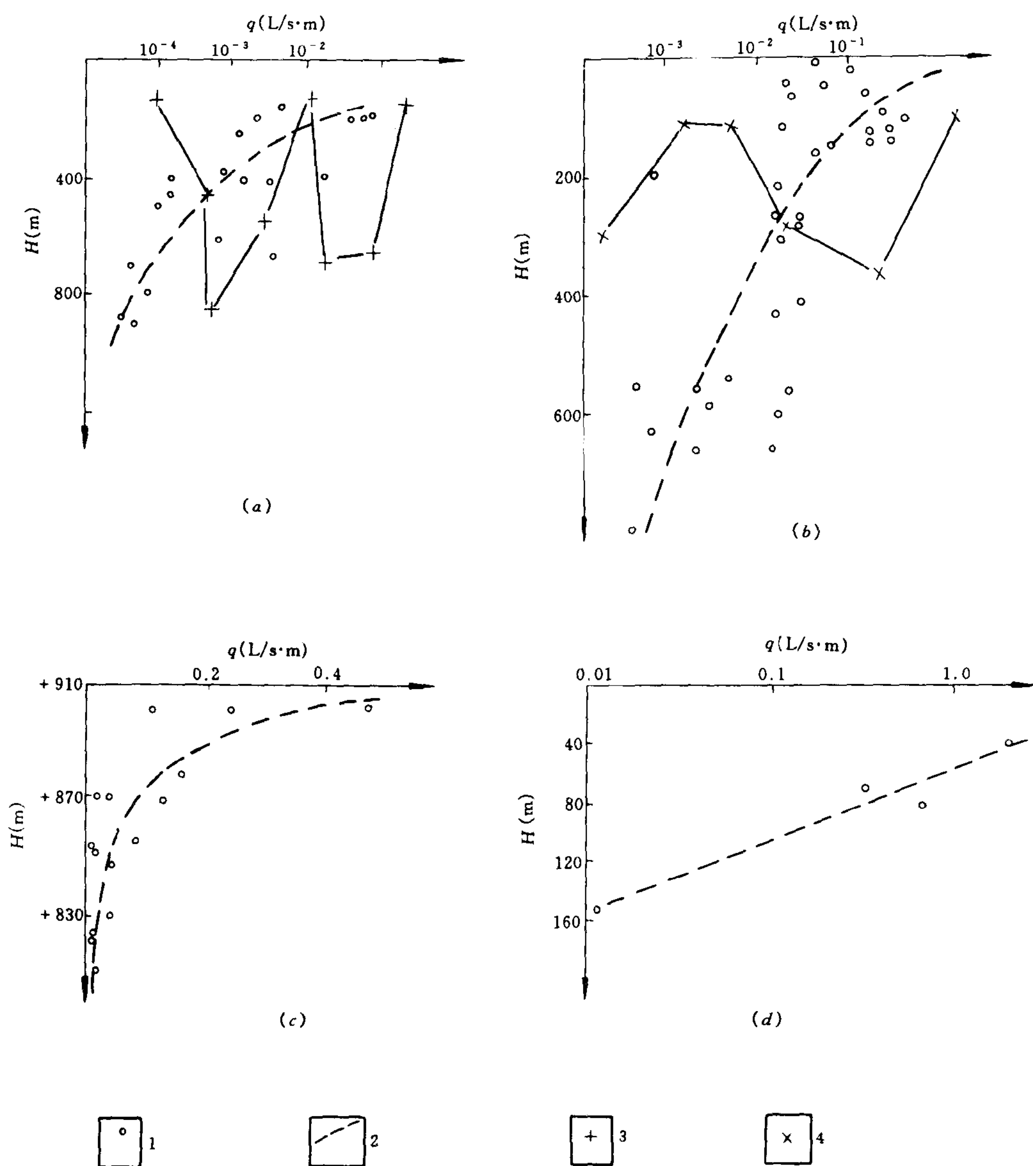


图 3-10 以裂隙充水为主的煤田钻孔单位涌水量与岩层埋藏深度的关系

a－红阳煤田（c－p）；*b*－阜新煤田；*c*－霍林河二露天；*d*－胜利煤田

1－抽水试验实际资料点；2－推定的 $q=f(H)$ 曲线；3－遇火成岩，4－遇断层

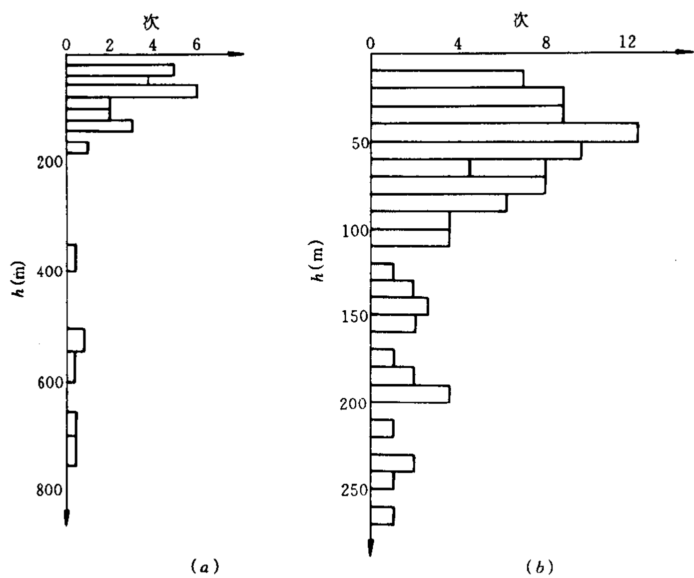


图3-11　钻孔冲洗液漏失次数与钻进深度的关系

a-勃利煤田龙湖区（J_3）；*b*- 集贤煤田东荣三井区（J_3）

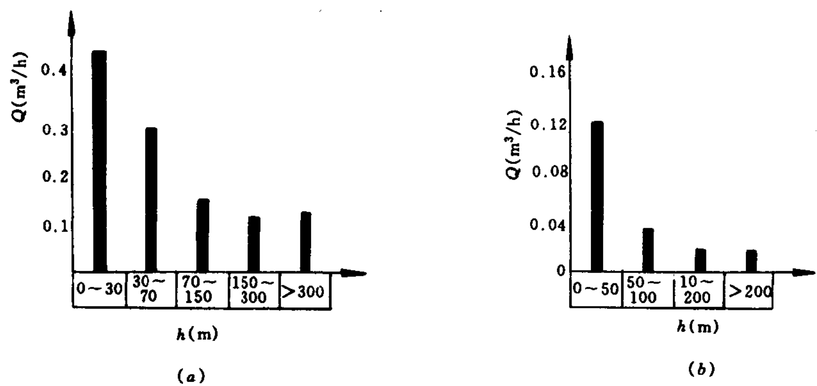


图 3-12　钻孔冲洗液消耗量与钻进深度的关系

a-和龙煤田（J_3,某 区 42个孔）；*b*-浑江煤田（c-p,某 区 60 个孔）

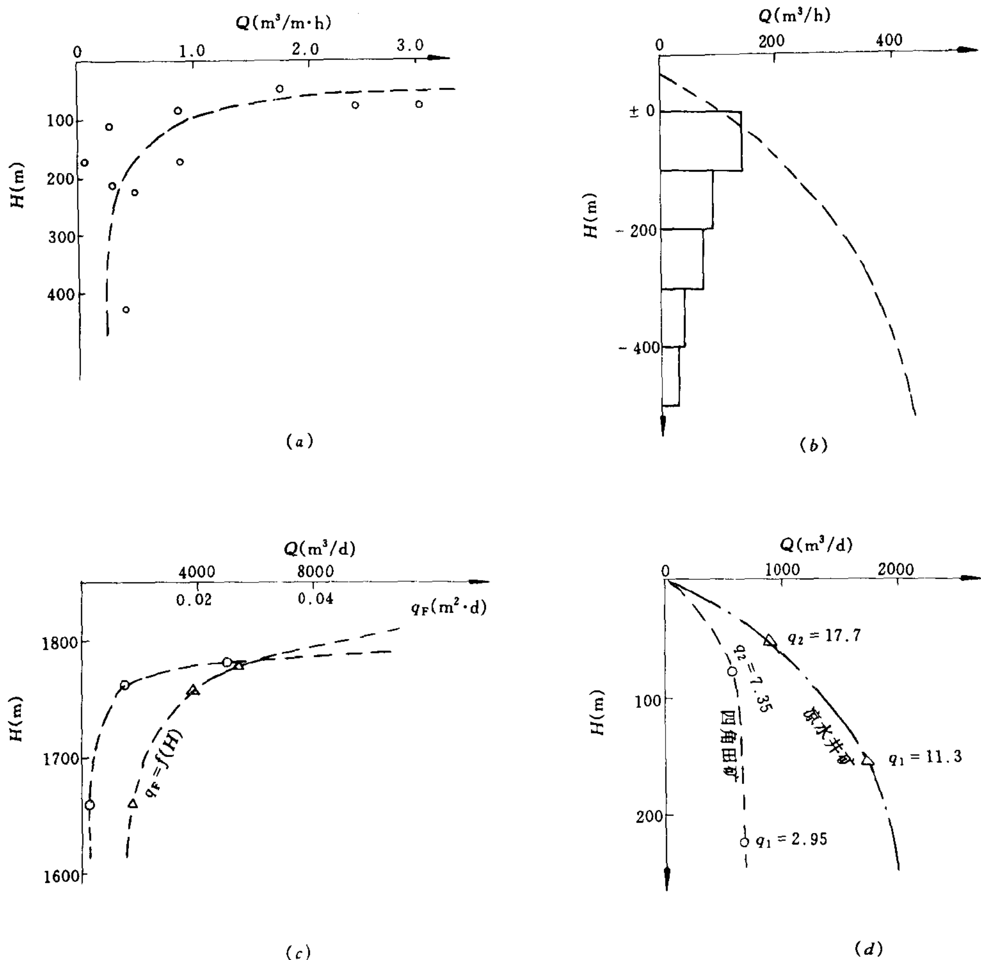
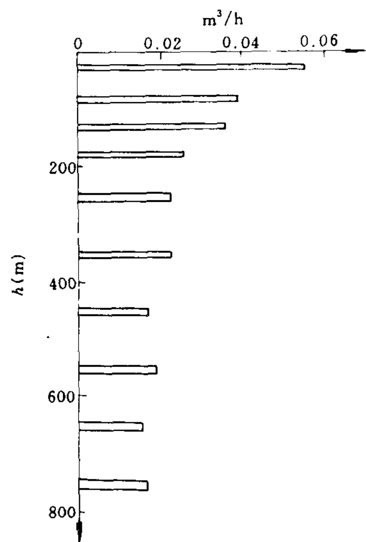


图3－13　部分以裂隙充水为主的煤矿矿井涌水量与开采深度的关系

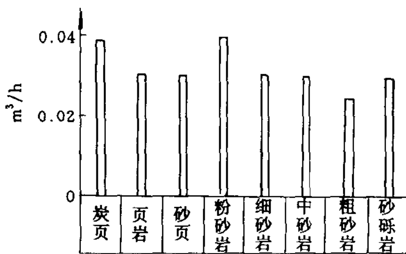
a－浑江煤田诸矿；*b*－阜新煤田清河门矿井；
c－盘杲煤田火铺矿；*d*－六枝煤田凉水井、四角田矿

第四纪末期在我国广大地区已经多次发生，各地都遗留有大量冰川遗迹。第四纪地质历史上这种多次大的气候变化，不可能不在地壳上一定深度范围内的岩层中产生巨大的破坏作用。据原苏联资料，现代长年冻结带的厚度通常为数十公尺，有的竟超过 600 公尺。B.M. 波诺马列夫根据钻孔测量资料证明，永久冻结岩层的最低温度点是在距地表 50 公尺左右的深度。不难想像，冰川时期的岩层冻结情况与现代永久冻结带的岩层冻结情况应大体上是相似的，而且有过之无不及。值得注意的是：东北区及内蒙古北部各地的强烈渗透带的深度通常是在地表以下 50～70 公尺左右，与现代寒带永久冻结带的深度基本上是一致的，这可能并非偶然。

(2) 埋藏深度愈大则岩层所受压力愈大，岩石的构造裂隙及成岩裂隙愈被压密和闭



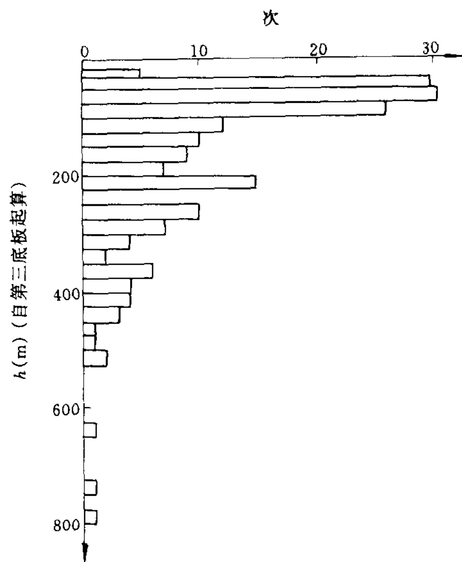
(a)



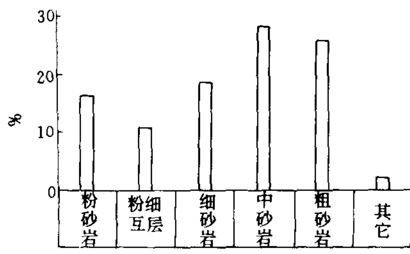
(b)

图 3-14　浑江煤田大通沟三区(c-p)钻孔冲洗液消耗量与钻进深度及岩性的关系(36个孔)

a-冲洗液消耗量与钻进深度的关系；
b-冲洗液消耗量与岩性的关系



(a)



(b)

图 3-15　集资煤田顺发区(J_3)钻孔冲洗液漏失次数与钻进深度及岩性的关系

(据顾谦隆资料)

a-漏失次数与钻进深度的关系；
b-漏失次数与岩性的关系

合，愈不透水或只微弱透水；埋藏浅，则岩石的构造裂隙及成岩裂隙因压力被解除而自由张开，成为导水裂隙及强导水裂隙。而且愈浅愈剧。

(3) 地下水的作用亦能使岩石颗粒间的胶结物破坏和解除，使裂隙扩大。由于地下水的交替强度是随着埋藏深度的增大而减小，水的矿化度则随着埋藏深度的增大而增高，因而地下水的溶解与破坏能力就随着埋藏深度的增大而减弱。

在上述三大因素的共同作用下，形成岩石的裂隙率和渗透性能随着埋藏深度的增大而减小的普遍规律。

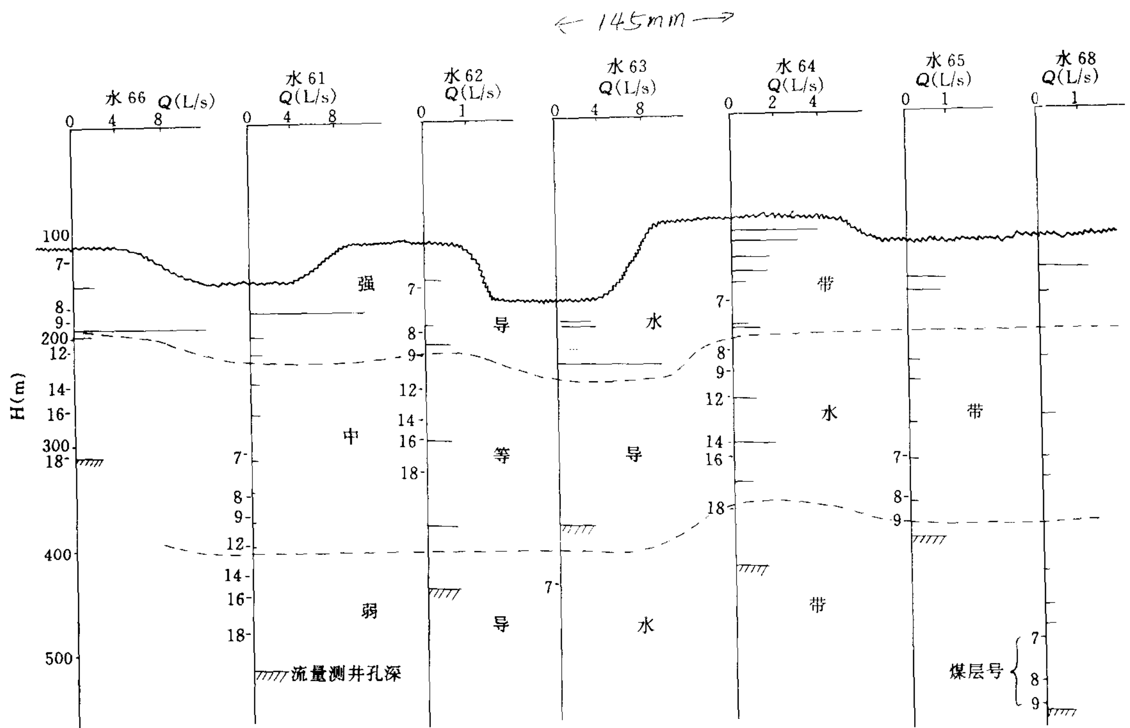


图3-16　集贤煤田顺发区水文地质孔流量测井对比图

（顾谦隆提供）

二、火烧岩的充水特征

我国西部陕西、甘肃、内蒙古及新疆等省区，有许多侏罗纪煤田，这些煤田多处于干旱半干旱地带，在其中一些煤田的浅部，常常由于煤层的自燃而使其上覆岩层烘烤变质而形成火烧岩带，成为一种特殊的含水岩层。火烧岩带多沿主要煤层的走向呈断续状展布，其特征受地形、水系以及煤层厚度、产状等因素控制，以沟谷两侧发育较好，煤层倾角较平缓、埋藏较浅，位于当地侵蚀基准面以上的地带，火烧岩带的宽度和深度也较大。火烧岩带的一般宽度在 1～2km，最宽可达 12km 以上，如果主要煤层间的间距不大，则各煤层形成的火烧岩带可以连结成片。火烧岩的形成作用主要有两种，一是受煤层燃烧时的热力烘烤，一是由于下伏煤层及围岩燃烧或受烘烤后体积缩小而引起上覆岩层的塌陷，这两种作用往往同时存在且互相促进，形成了裂隙比较发育的，透水性和储水能力要比煤系原岩好得多的特殊的含水或透水岩带。火烧岩一般厚度 20～30m ，厚者可达 50～60m ，从下而上通带可以分为类熔岩、烧变岩和烘烤岩三个岩石段：

（1）类熔岩段。原岩成份、结构均产生了改变，具杏仁状气孔及流纹状构造，气孔一般 1cm 左右，大者达 5～12cm ，因冷却收缩而裂隙十分发育。

（2）烧变岩段。原岩的结构、构造未发生显著改变，岩层在重力作用下塌陷，岩石呈大小不等的菱形碎块及蜂窝状，裂隙发育，裂隙宽度一般 0.2～0.5cm，最宽可达 10～30cm。

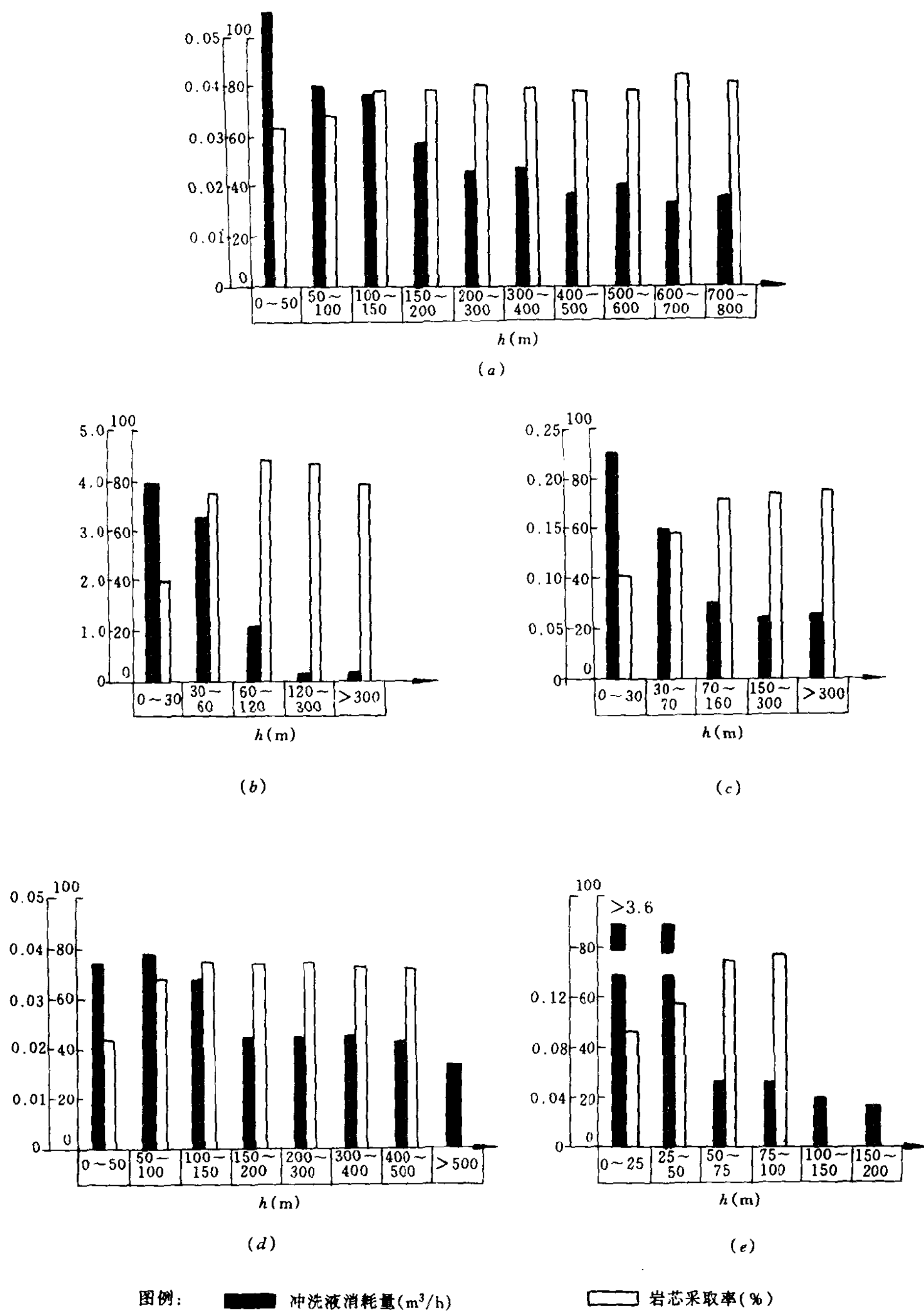


图 3-17 钻孔冲洗液消耗量、岩心采取率与钻进深度的关系

a - 浑江煤田大通沟三区（c-p）；*b* - 蛟河煤田（J_3）；*c* - 和龙煤田（J_3）；

d - 红旗煤田煤系（J_3）；*e* - 红旗煤田晶屑凝灰岩（k）

(3) 烘烤岩段。岩石的结构，构造未发生改变，只是岩石颜色发红，且有一些裂隙发育。

火烧岩埋藏浅、透水性强，易于接受大气降水的补给。由于主要是受大气降水补给，故其分布区的面积大小通常决定着其富水性的大小。在陕北等地区，一些火烧岩上往往有第四系上更新统萨拉乌苏组砂层覆盖，其间没有稳定的隔水层，由于萨拉乌苏组广泛地大面积地接受大气降水补给，使得火烧岩中常有流量较大动态比较稳定的泉水出露，如拉特不拉沟泉，主要泉点流量之和为 $0.186m^3/s$ ，拧条塔几个泉点总流量达 $0.21m^3/s$，清水沟一带较大泉点之流量一般在 $0.1m^3/s$，清水沟地带 G21 号孔火烧岩厚度 22.3m，单井水量达 $1207m^3/d$，呼家圪塔泉流量达 $0.356m^3/s$。在一些地段，萨拉乌苏砂层水位与火烧岩水位间往往存在陡坎，形成跌水现象（图 3－18）

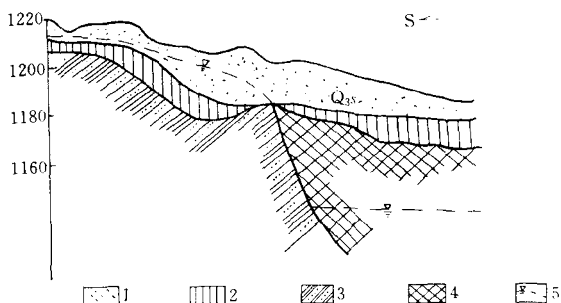


图 3－18　拧条塔井田地质—水文地质剖面略图

1－砂层；2－黄土；3－砂页岩；4－火烧区；5－地下水位

由于火烧岩通常位于煤层的露头部位，是浅部煤层开采时的充水水源，也往往是这些处于干旱半干旱地带的矿床充水的最主要水源，决定着矿井的充水强度和是否能够疏干，在露天开采时还是影响露天边坡稳定性的一个重要因素。当火烧岩分布比较局限，上部又没有广泛的第四系砂层分布时，其充水能力有限，易于疏干，对矿床开采危害不大，但是由于火烧岩带导水性很强，如产生突水，来势也可以很猛，必要时可以采取预先疏干的办法。当火烧岩分布范围广泛，尤其是其上覆盖有大面积的萨拉乌苏组砂层时，其矿坑充水水量将较大而且较稳定，更为麻烦的是在这种情况下萨拉乌苏组砂层和火烧岩中的地下水常常是当地的宝贵的水资源，既是供水层位又是生态环境形成中的最主要因素，当其中地下水大量进入矿坑后将危及当地本来就十分脆弱的生态环境，也可能造成水资源的破坏。为了避免出现这种问题，必须采取一些有效的防治措施，其中主要是避免火烧岩及砂层水进入矿坑或大量进入矿坑；如果火烧岩及砂层水不可避免地将进入矿坑，那么矿井中必须采取特殊办法进行水质保护，防止进入矿坑的地下水过多地遭受污染，同时进行矿坑水的综合利用，以保护地下水资源。研究火烧岩及其上砂层在矿井充水中的地位，把它们向矿井充水后可能产生的影响以及地下水资源保护，统一进行论证和研究经济技术合理的对策，是这些矿区煤田充水条件研究中的一个突出问题。在有条件的矿井可以尽量采取留设防水煤柱等方法阻止火烧岩水流入矿坑。火烧岩大量向矿坑充水往往并不可怕，怕的是水资源的破坏和生态环境的过度恶化。

第三节　　孔隙含水层的充水特征

孔隙含水层指地下水储存与运移于组成含水层的固体颗粒之间的孔隙之中的含水层。孔隙含水层主要分布于疏松未胶结或半胶结的新生代地层中。孔隙含水层的富水性一般较裂隙含水层和岩溶含水层要均一，它多以比较均一的渗入形式向矿坑充水，有时也造成流砂溃入矿井。孔隙含水层的透水性主要取决于岩性，颗粒大小及分选程度、磨圆程度、含粘土成分的多少，特别是粘土成分的多少对含水层的渗透性影响很大。因此，研究孔隙含水层的成因、岩相、岩性及厚度变化规律对阐明其矿床充水特征有明显的作用。孔隙含水层一般埋藏较浅，易于得到大气降水和地表水的补给，它与地表水体的关系和大气降水的渗入强度往往是决定矿床充水量大小和变化过程的重要因素。

孔隙含水层对煤矿充水，主要有三种类型：一是煤系本身以含孔隙水为主的第三纪褐煤矿床；二是煤层露头部位或其浅部直接上覆有孔隙含水层的煤矿床；三是在巨厚新生界含水层组覆盖下的煤矿床。三者各有其不同的充水特征。

一、以含孔隙水为主的褐煤矿床充水特征

在第三纪褐煤田中，煤系岩石固结较差，呈松散或半松散状态。组成煤系岩石的固体颗粒之间的孔隙，尚基本保存或完全保存，以含孔隙水为主。其渗透性能取决于含水层的粒度组成及矿物成分。裂隙一般不发育。断层对含水层一般只起错位或对接的作用，其导水作用与阻水作用，都不很明显。

在开采褐煤时，矿坑涌水量一般较小，这是由于煤系含水层一般粒度较细、渗透性能较小之故。但矿床工程地质问题却往往比较复杂。泥岩遇水软化、膨胀，能使井巷发生变形、缩径、底鼓、岩移等现象，给井巷维护带来很大困难（如沈北煤田）；采用露天开采时，则边坡严重不稳（如抚顺露天矿、小龙潭露天矿）。含水粉、细砂层则往往能形成流沙溃入矿坑，给开采造成很大危害（如舒兰煤田）。

饱水粉、细砂层受到震动或扰动后，会突然液化成为流沙，溃入矿井，能迅速将巷道淹没，且不易清除。但当流沙被疏干后，即紧密固结而失去流动性。因此，当开采煤层的直接充水含水层为粉、细砂层时，就必须提前进行疏干，使砂层固结后才能安全开采。由于饱水粉、细砂层持水度大、渗透性小，且容易涌砂，不易疏干，故疏干工作，需时较长，往往需要提前数月以至一年进行。当含水层的粒度越细，厚度越大、分布越广、补给条件越好时，越不易疏干。尤其当粉、细砂层中含有亲水矿物（如伊利石、蒙脱石、水云母）时，水、砂就更不易分离，更难以疏干，给采煤工作造成的危害就更大。反之，则比较易于疏干，为害亦小。随着疏干时间的延长、水头压力的降低和降落漏斗的扩展，在水量变小的同时，流沙现象也将随之减弱以至完全失去流动性。

开采第三纪褐煤的矿井，随着开采时间的增长和开采深度的增大，其水文地质、工程地质条件将逐渐改善。关键是开采的初期必须采取切实可行的防治措施。

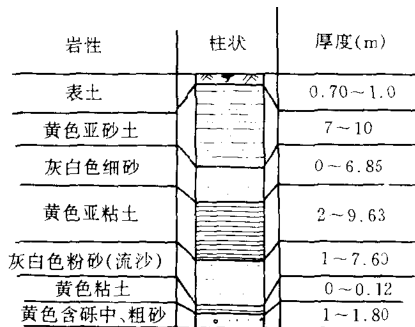
大兴安岭以西，广泛分布有下白垩统褐煤煤田（矿区），如伊敏、堆林河、陈旗、元宝山等，岩层成岩程度低，含孔隙水，一些煤田中（如伊敏）煤层是矿区中渗透性和富水性最强的主要含水层。

二、在煤层露头部位或其浅部直接覆盖有孔隙含水层的煤矿床的充水特征

此类煤矿在全国各地各时代的煤田中都有。其中大多数是在河谷砂、砾含水层覆盖下，其次是在砂层含水层覆盖下（西北地区）这类煤矿的充水特征主要是顶板来水。其对煤矿的危害程度取决于：①上覆孔隙含水层的含水性大小。如厚度愈大、分布愈广、补给条件愈好、渗透性愈强，则对煤矿危害愈大；反之，则愈小　②是采用露天方法开采，还是采用井工方法开采。如采用露天开采，则必须提前疏干或设防渗围幕；如采用井工，则尚取决于：③上覆孔隙含水层与煤层之间有无隔水层或相对隔水层。④煤层采动后顶板冒落所产生的导水裂隙带能否达到上覆孔隙含水层的底板。如达不到，二者之间尚保留有隔水保护层，则可安全开采；否则须采取防治措施。

内蒙古东部元宝山露天煤矿区系位于英金河河谷平原之中。晚侏罗世褐煤赋存浅而巨厚（煤层总厚度 76.7m），倾角平缓（3°～14°），储量巨大（5.4 亿 t），很适于大型露天开采。但煤层露头之上直接覆盖着厚度约 60m 的第四系卵石含水层，水量异常丰富。并有英金河蜿蜒其上，老哈河流经其侧，补给条件良好。露天剥离初期的排水量已达 $3.9\times10^5\sim4.3\times10^5 m^3/d$，影响范围 10～12km，波及整个河谷平原，但中心水位只降低了 18m，还远不能满足露天剥离的要求。除长年耗费惊人的排水费用外，每天尚花大量的人力物力向周围广大农村供水、工农矛盾也日益紧张。有人设想过改用特大规模的防渗帷幕将整个大露天围起来。其难度之大，费用之巨，是可想而知的。

马鞍煤矿是一个流沙层充水矿床，晚三叠世煤系倾角较缓，为第四系所覆盖，第四系含水层成为浅部煤层的直接充水含水层，厚度 20～30m，最厚可达 45m，单位涌水量 0.4～1.39L/s·m，结构如图 3-19 所示。



岩性	柱状	厚度(m)
表土		0.70～1.0
黄色亚砂土		7～10
灰白色细砂		0～6.85
黄色亚粘土		2～9.63
灰白色粉砂(流沙)		1～7.60
黄色粘土		0～0.12
黄色含砾中、粗砂		1～1.80

图 3-19　马安矿区第四系结构图

该矿在开采浅部煤层时，曾于 1963 年 9 月 30 日在延深井 -30m 采区，突遇流沙，淹没巷道 500m，被迫停产半年，后来采用了分离水砂等有效措施，治服了流沙层充水。对于这种由孔隙含水层覆盖的缓倾斜煤矿床而言，煤层层次愈多、倾角越缓，则充水范围越大，而充水特征则主要取决于煤层隐伏露头地段处的含水层特征，在留有足够的煤柱后流沙便不会突入矿坑，矿坑长期疏排上部孔隙水以后，砂层将逐渐地被疏十，所留防水煤柱的高度亦可逐渐减小。

陕北神木矿区北部和大保当地区，侏罗纪煤系往往上覆有第四系上更新统萨拉乌苏组

砂层，该砂层直接接受大气降水的补给，入渗条件较好，其厚度数米至数十米，在一些厚度大且分布范围广的地段，其富水性也好，同时也往往是矿区供水的取水对象，其地下水是当地宝贵的水资源。在这些地区，煤层厚度大、倾角缓、埋深小，煤层以上基岩的厚度也小，神木东胜矿区，煤层顶板以上基岩厚度一般只 20～120m ，大保当地区一般为 40～260m，煤层开采以后在许多地方特别是一些井田的先期开采地段，导水裂隙带可以直接达到萨拉乌苏组砂层，使砂层向矿坑充水。据估算，仅神木北部， 1^{-2} 到 2^{-2} 煤开采后，导水裂隙带可能达到基岩顶面以上的地区面积为 $1137km^2$， 3^{-1}到 5^{-2}煤为 $2407km^2$;大保当地区为 $1718km^2$ ，这就使得萨拉乌苏组砂层不仅可能在大范围内向矿坑充水，而且也可能造成当地的地下水资源的破坏，一些地区可采煤层至砂层间距仅 0～15m，当井巷掘进到这些地区，砂层地下水将携带着泥砂溃入井巷，前石畔井田瓷窑湾煤矿 1990 年 4 月 20 日在掘进采区皮带巷时，发生顶板冒落涌水涌砂事故，涌水量从 $50m^3/h$ 逐渐增加到 $200m^3/h$，粉细砂溃入矿坑 $4000m^3$，同年 12 月 28 日在大巷北侧残采区 2 号切眼处发生冒顶突水，其涌水量仅 $35m^3/h$，而溃入巷道的粉细砂却达 $6000m^3$ 左右。瓷窑湾煤矿突水涌砂处地质剖面见图 3－20。在以上这些矿区，如何避免萨拉乌苏组砂层水大量地在大范围内进入矿坑，如何既有效地利用煤炭资源同时又保护好地下水资源是今后煤矿发展中一个带战略性的问题。

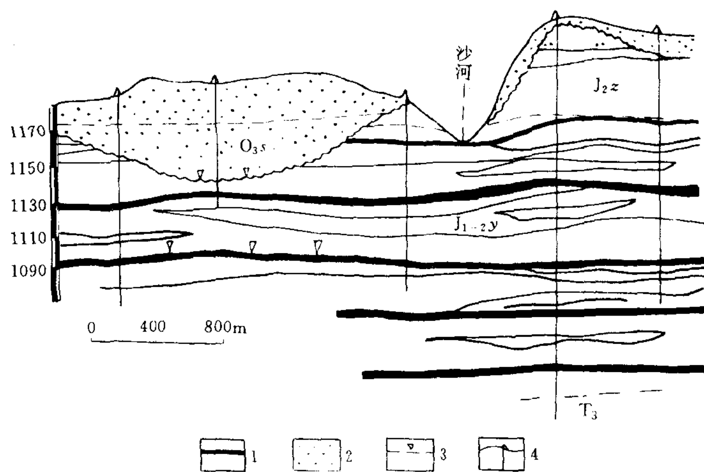


图3－20 神木北部矿区前石畔井田水文地质剖面图

1－煤；2－松散沙；3－潜水位；4－钻孔

三、巨厚新生界覆盖下的煤矿床充水特征

此类煤矿床在我国东北、华东、华北等地区都有着广泛的分布，如东荣、开滦、大屯、巨野、梁宝寺、兖州、济宁、峰峰、焦作、淮南、淮北、邢台等。巨厚的新生界阻隔了大气降水和地表水对煤系中含水层的直接补给，常常形成煤系含水层地下水的补给比较缺乏。巨厚新生界覆盖下的煤矿床充水特征主要地取决于新生界底部是否有含水层、且含水层的富水性以及它获得补给的能力，即与其上部新生界其它含水层以及和煤系、煤系下伏含水层的水力联系状况。在生产矿井和基建井中，凡是新生界底部存在含水层者，其矿

坑涌水量通常也较大，反之则较小。新生界在我国东部许多煤田中，其沉积厚度从数十米到数百米，沉积时代包括新第三纪和第四纪，沉积岩相以河流相、洪积相和湖泊相为主，为一套砂、砂砾和粘土、亚粘土的互层，可以划分出 2～5 个含水层组和 2～4 个相对隔水层组，其底部常可见到一层分布比较广泛的砂砾含水层（图 3－21），其中含有较多的泥质。底部砂砾层之上通常有一分布连续隔水性能较好的粘土层存在，其厚度多在 10m 以上，甚至数十米，这层粘土层超覆于底部砂砾层之上，阻隔或者减弱了底部砂砾含水层与新生界其它含水层的水力联系，使得一些矿区的底部砂砾含水层处于半封闭的状况，补给比较缺乏。也有一些矿区，新生界底部为隔水层（图 3－22），使新生界对矿床的开采和矿坑充水的影响较小。

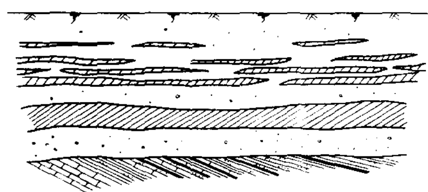


图 3－21　新生界剖面
（底部为含水层）

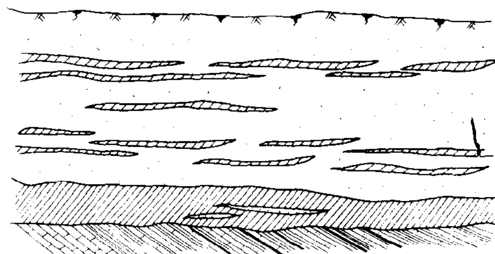


图3－22　新生界剖面
（底部为含水层）

新生界底部含水层在矿坑充水中常居于重要的或者主导的地位。由于它不整合地覆盖于各个不同时代的基岩含水层之上，因而成为沟通各个含水层水力联系的桥梁，使得和新生界底部含水层接触的各个含水层都有通过它向矿坑充水的条件。这些和新生界底部含水层接触的基岩含水层的水可以通过新生界底部含水层进入矿坑，也可以由新生界底部含水层再补给煤层的直接充水含水层后再进入矿坑。开滦矿区新生界地层厚度大，其间缺乏稳定的隔水层（段），底部含水层与其上各新生界含水层间有较密切的水力联系，补给来源比较丰富，其矿井涌水量也大。

新生界底部含水层向矿坑充水有三个途径，一是经过煤层回采以后产生的裂隙带：二是通过煤层顶、底板砂岩含水层，特别是在基岩风化裂隙带之内其导水性往往较强；三是通过回采裂隙和煤层顶、底板砂岩含水层的混合途径（图 3－23）。在生产矿井中通常要

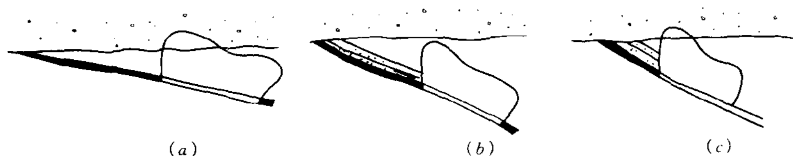


图3－23　新生界底部含水层向矿坑充水途径示意图
a－通过冒裂带充水；b－通过直接充水含水层充水；
c－既通过冒裂带又通过煤层顶（底）板含水层向矿坑充水

在新生界底部含水层之下留设防水煤柱，如淮南矿区新生界之下通常留设80m高的露头煤柱，淮北则在新生界下留设60m露头煤柱。在新生界底部含水层下留设一定高度的防水煤柱，对于减少新生界底部含水层向矿坑充水水量能起到一定的作用，但是在许多情况下并不能阻止新生界底部含水层向矿坑充水。如淮南潘集新区4对矿井在留设80m高煤柱的条件下，大多数掌子面都有新生界底部含水层出水问题，证明留设80m煤柱仍然不能有效地防止底部含水层水进入矿坑。即使再增大煤柱尺寸，也往往不能保证新生界底部含水层水不进入矿坑，因为要全部切断上述新生界底部含水层水进入矿坑的三个途径是很困难的，增大煤柱尺寸通常只能避免冒裂带直接达到新生界底部含水层，减少其充水水量。此时，新生界底部含水层的水即使不直接向矿坑充水，也仍为矿坑充水的补给水源。故凡是在有新生界底部含水层分布的矿区，煤矿开采的结果，都会引起新生界底部含水层水位的大幅度下降，同时由于它导通了矿区各个基岩含水层之间的水力联系，因而也引起有关各含水层水位的下降。新生界底部含水层向矿坑充水水量取决于它的富水性，而充水水量的变化趋势则取决于它的补给条件，由于新生界底部含水层与许多含水层有着较密切的水力联系，故开采浅部煤层时矿坑的水量往往比较稳定，而随着开拓面积的增大或开拓走向长度的增加而随之增大，但是随着开采水平的延深水量一般不会大幅度增加，因为随着开采水平的延深，新生界底部含水层的水位降低虽然有所增大，但是地下水进入矿坑的通道及畅通程度可能减小，这点已为许多矿区的开采实践所证明。尽管在开采浅部煤层的过程中新生界底部含水层水位会大幅度降低，同时煤系中各含水层，甚至太原统灰岩、奥陶系灰岩含水层的水位也会有明显的下降，但是在许多矿区中新生界其它含水层的水位往往很少产生明显的下降。这是因为这些矿区新生界底部含水层之上普遍分布有一层厚度在20m以上的隔水性能较好的粘土层，虽然不能排除新生界其它含水层以越流的方式补给新生界底部含水层的可能性，但补给量是很小的。上覆隔水层相对于新生界底部含水层而言是一种超覆关系，新生界底部含水层与其上部各含水层的水力联系主要发生在其上覆粘土层缺失的天窗地段（图3-24），途径是通过基岩风化带。由于此类天窗的数量很少且分布局限，导水性也并非很好，因而新生界底部含水层得到新生界其它含水层的补给是比较微弱的。新生界其它各含水层水不能大量地进入矿坑，这对矿床的开采和上部水源地的保护都是有积极意义的。

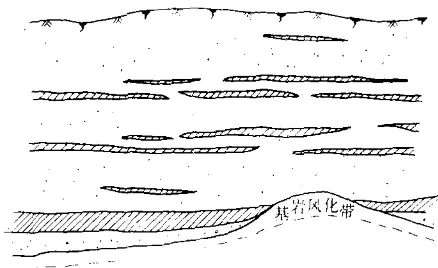


图3-24 新生界底部含水层在天窗地段获得补给

当煤层开采时的冒裂带达到新生界底部含水层时，新生界底部含水层成为煤层开采的直接充水含水层，此时煤层可能有1个以上的直接充水含水层。新生界底部含水层一方面

直接向矿坑充水，一方面又可以成为煤层顶底板直接充水含水层的补给水源，兼具有间接充水含水层的特征。当煤层开采时的冒裂带达不到新生界底部含水层时，新生界底部含水层往往是间接充水含水层，直接充水含水层可以通过它得到许多其它含水层的补给，具有比较广泛的补给来源，使矿区的许多含水层成为一个统一的地下水系统，其中新生界底部含水层的导水性能决定着这个系统向矿坑充水的能力。

第四节　　断层及陷落柱的充水特征

一、断层的充水特征

断层是煤田勘探和煤矿开采中经常遇到的地质构造，它不仅对煤层的赋存和开采影响甚大，而且是矿床充水的极其重要的因素。断层在矿坑充水中的作用取决于断层的性质、规模，断层形成的时代，断层两盘伴生裂隙的发育程度，断层所切割的地层的岩性和富水性，断层两盘岩层的对接组合状况等等。断层在矿床充水中的作用表现在以下几个方面：

（1）断层切割了岩层，破坏了岩层的完整性，在隔水层中形成了脆弱地带。在煤层开采时，由于矿山压力、水头压力的共同作用，因而地下水常常突破这些比较脆弱的地段而发生突水，水头压力愈高，突水的可能性也愈大。

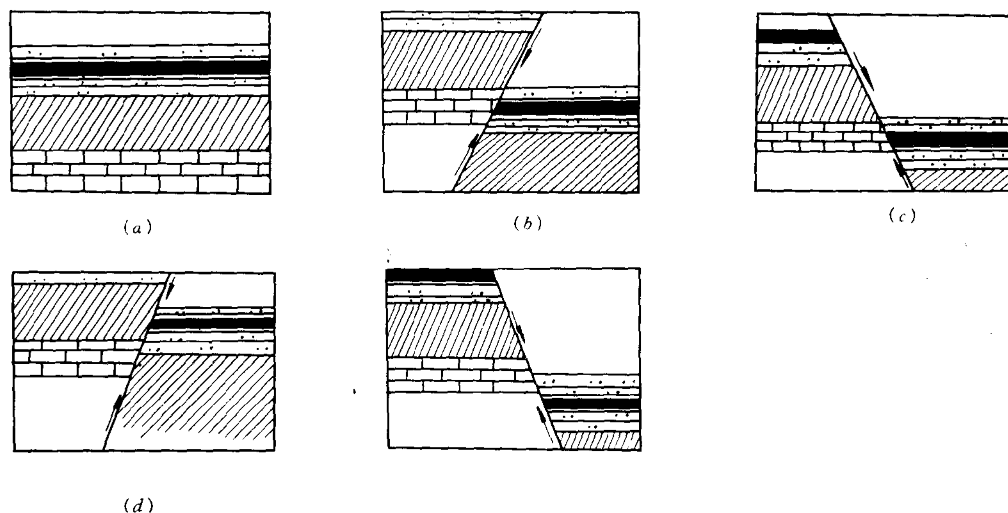
（2）断层本身在天然状态下即是导水通道，特别是那些断层带较宽或者受其影响所产生的裂隙带较宽时，其导水的可能性更大。张断裂、张扭性断层的导水能力可能较强一些，新构造断裂带通常胶结较差，在岩性适宜的地段，有较好的导水性能，即使是那些压性、压扭性断层也是如此。

（3）断层在矿床充水中的另一个重要作用是使断层两侧的含、隔水层产生新的组合，改变矿床的直接充水含水层的补给条件。例如，如果直接充水含水层和断层外侧的隔水岩层对接，则使其补给条件变差，如果断层使得直接充水含水层和外侧的强含水层对接，则将改善直接充水含水层的补给条件，使其在矿坑充水中有比较稳定的补给水源。

（4）断层还使得煤层与含水层对接或接近，使含水层向矿坑充水的可能性增大（图3－25）。对正断层而言，突水易在上盘发生，而对逆断层而言，则突水易发生在断层下盘。

断层在矿床充水中的具体作用除了与断层的地质、水文地质特征有关外，还与开拓因素相关，在许多矿井开采中突水的经常是一些小的断层，而大的断层突水倒比较少见，这则多是因为大的断层易于查清，并采取留煤柱等防治水措施，开拓中多只是用巷道穿过，跨度较小；小的断层则不易查出，一般也不留煤柱，且多出现在采区内，回采工作面跨度大，易于破坏，在那些隔水层厚度不大的地段，较小的断距也可能使含水层和煤层的间距小于安全数值，加之断层对隔水层力学强度的削弱，小断层的透水现象也就较普遍的了，特别是在底板进水为主的岩溶充水矿区，小断层常常是突水的最重要通道。

一条较大的断层，其导水性能在走向上及倾向上的变化往往是很大的，在断层两侧均为含水层的地段上，断层通常表现为导水的；当断层两则岩层均为隔水层，特别是泥质岩类时，往往表现为阻水；在脆性较强的岩层（如钙质胶结的砂岩或灰岩等）中断层常具较好的导水性；在富水性都差的围岩中的断层，其富水性和导水能力通常也较弱；而那些切割强含水层，或者能导通地表水体、地下暗河的断层则可能成为矿坑充水的重要因素；在



(a) (b) (c) (d)

图 3-25 断层使煤层与含水层对接或接近

a-正常层位；b、c- 含水层和煤层对接； c、d-含水层与煤层接近

岩溶含水层中断层带常常是岩溶集中发育的地段，富水性强，常形成岩溶地下水的强径流地段。一条延伸较长的断层，其产状不会均一的，其受力也不会均一的，即使是一条压性断层，也会因为其挤压力的方向和受压情况不相同而在那些受压力相对较小的地段出现和受张力类似的情况，而成为导水的部位。尽管不同力学性质的断层带的水文地质特征不同，但在断层带两侧往往均会伴生一些裂隙，而使其导水性增强。

有一些断层，在自然状态下其导水性能可能很弱；在开采条件下，当井巷揭露断层的部位远离强含水层时，断层仍可能表现为不导水；但是当揭露含水层的部位越接近含水层，含水层水头压力越高时断层则逐渐表现出导水性质；在水压较高，揭露断层的部位与含水层间距过小时，则会发生突水现象。例如，肥城矿区水 27 号孔和水 29 号孔分段观测稳定水位的资料，在含水层水头压力为 $5\sim6kg/cm^2$ 时，钻进到强含水层不到 10m 时，才反映出断层带有弱渗透性；中二副井井筒掘进揭露 F_{4-1} 时，因距含水层 4 灰间距较大，水头压力也小，故无水，而在井底 12 煤层西一车场掘进揭露该断层时，因揭露部位与 4 灰间距缩小，同时水压增大，故而有淋水现象；水 27 号孔刚揭露该断层时，由于揭露断层部位已接近奥灰，孔内水位便突然上升了约 40m，但与奥灰水位相比较还相差约 40m，说明断层虽然表现出一定的导水性，但渗透性能很弱，阻力很大；中一井 9404 安全道北下山，发现 14 煤发湿，顶板有淋水，用超前钻探钻进到 7.5～9.26m 处见断裂带，继续钻进到 10.31m，于超过断裂带 1.05m 处（此时与徐灰间距缩小了 5～7m），在徐灰水压作用下出水，每小时 $50m^3$，水呈乳白色，后将岩心管留在孔内，用双液注浆堵死。

断层突水通常是底（顶）板岩溶水进入矿坑的重要通道，断层突水常常表现出迟后特征，即在井巷工程揭露断层的当时并不发生突水，而是在井巷穿过该断层一个时间后才突水，滞后时间可以是几天、几月，几年甚至十余年。这是因为一些断层在天然状态下，本来是不导水的，之所以会突水则是水压、矿压和地应力等因素共同作用的结果，这需要时

间、需要条件，只有经过了一定的时间，在一些新的条件下，原来不导水或者弱导水的断层才变成了突水通道，当通道越来越通畅后，水量也迅速增大。

在断层突水中起作用的断层往往可能不止一条，特别是一些小断层发育比较集中的地段，突水可能是一些小断层共同作用的结果，其中部分小断层可能在井下并没有揭露，但是在突水中发挥了作用。峰峰梧桐庄矿在副井向主井贯通过程中，见一断距为 8m 的断层，揭露时无水，继续掘进 5m 后底鼓出水淹井，突水水量最大达 5 万 m^3/h，水温 41℃，为高矿化度氮化物硫酸盐水，据突水水源分析为奥陶系灰岩水。奥陶系灰岩距突水巷道间距 120m 以上，水压虽达 $73kg/cm^3$，但一般情况下这 8m 的小断层应不致于造成奥灰水直接进入矿坑，故当时怀疑是否有岩溶陷落柱或者断层可能向深部断距加大，但是在作了地震及瞬变电磁法后，否定了陷落柱的存在，断层向深部断距加大也没有显示。据分析，这种突水可能不止一条小断层起了作用，也可是一次连锁式突水，野青、伏青、大青、奥灰等灰岩逐次突破了各自的上覆隔水岩层，最终形成了奥灰水的通道的。所以该矿防治水的关键首先在查明小断层的分布，预测突水的可能，必要时疏水降压形成从上至下的合理水头梯度，让各个含水层上的隔水层都发挥出各自的隔水作用，则矿井的正常开采是可能的。

二、陷落柱的充水特征

通过岩溶陷落柱向矿坑充水这是岩溶充水矿床的一种特殊充水方式，也是岩溶充水不均一性的一种表现。岩溶陷落柱是由于底部石灰岩中岩溶充分发育所引起的顶部灰岩及上覆非可溶性岩层向下塌陷所形成的锥状或柱状堆积体，多在北方石炭二叠系煤田中出现，表现为石炭二叠系岩层向下塌陷形成的塌落岩块堆积的柱状体，俗称无煤柱。岩溶陷落柱在平面上大多是椭圆形、圆形，少量呈不规则形状，直径几十米至数百米（表 3－3）。在剖面上陷落柱呈上小下大的圆锥状、筒状、斜塔状、不规则形状等，图 3－26～图 3－29。陷落柱从灰岩顶面到柱体顶端的高度一般百余米到数百米，最大可达 500～600m，陷落柱

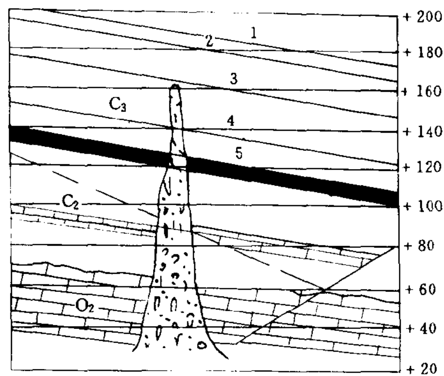


图 3－26 锥体型陷落柱

（井陉一矿 8号陷落柱，据王良等）

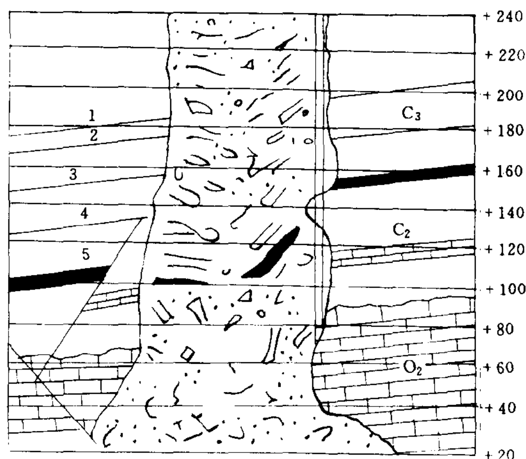


图 3－27 筒型陷落柱

（井陉五矿 3 号陷落柱，据王良等）

表 3-3 我国北方石炭二叠系煤田陷落柱发育特征表

地点	数量(个)	平均密度(个/km²)(最大~最小)	平面形状	长轴(m)一般(最大~最小)	短轴(m)一般(最大~最小)	长轴方向	陷落最大高度(m)	备注
山西阳泉矿	450多	4.5(17~<1)	椭圆为主	30~60(300~10)	长短轴之比4:1~2:1	N300-330W	500~600	包括矿区及外围共有960个
山西西山矿	1300	70	椭圆为主	20~40				
山西汾西张家庄矿	360	43	椭圆为主	20~30				陷落柱突水
山西什林矿	75	37.5	椭圆为主	20~30				
山西霍县矿	405	34.7(110~10)	椭圆为主	10~60				陷落柱突水2处
河北井陉矿	112	0.85	椭圆为主	300~30	长短轴之比1:0.6-1:0.8	NE NW	250~300	陷落柱突水1处
河北峰峰一矿	6		椭圆为主	200	20			
河北峰峰三矿	18	1.6	椭圆为主	40~20(73~5)	25~10(40~3)			
河北峰峰羊渠河矿	6		椭圆为主	204	150			
河北开滦范各庄矿	9		椭圆为主	76~50(95~47)	51~35(57~29)		280	陷落柱突水4次，其中212171工作面突水2053m³/d(1984，6，2)
河北开滦唐家庄矿	5		椭圆为主	116~34	74~20		50	
河南鹤壁四矿	22		椭圆为主	200~84	60~36		398	
河南安阳铜冶矿	22		椭圆为主					陷落柱突水1处
河南焦作李封矿	1		椭圆为主					陷落柱突水1处
江苏徐州大黄山矿	17		椭圆为主	(200~20)	(146-10)			
江苏徐州青山泉一井	1		椭圆为主					
江苏徐州夹河矿	1		椭圆为主	135	100			陷落柱突水1处
江苏徐州王庄矿	1		椭圆为主	122	93			
江苏徐州权台矿	7		椭圆为主	(160~14)	(40~10)			
江苏徐州韩桥矿	4		椭圆为主	(170~56)	(35~100)			
江苏徐州董庄矿	1		椭圆为主	280	200			
江苏徐州义安矿	1		椭圆为主					
江苏徐州新河矿	3		椭圆为主	(136~38)	(100~18)			
江苏徐州庞庄矿	1		椭圆为主	38	19			
江苏徐州柳新矿	1		椭圆为主		20			
江西晋城矿	27	1.1~1.2	椭圆为主	(125~30)	(62~20)			

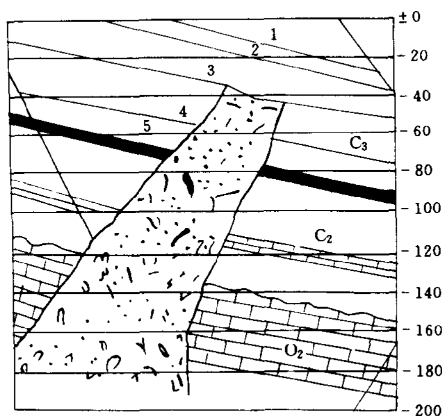


图 3-28 斜塔型陷落柱

（井陉一矿贾庄 9 号陷落柱，据王良等）

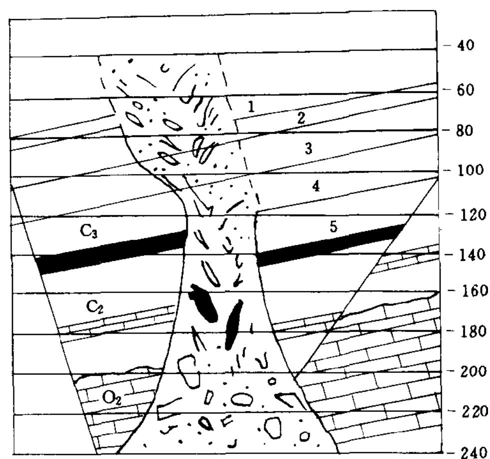


图 3-29 不规则型陷落柱

（井陉一矿贾庄 8号陷落柱，据王良等）

下部插入灰岩内一般数十米左右，陷落柱中的堆积物往往是逐次陷落形成的，其下部堆积物（与原生岩层相比较）的陷落深度较大，而往上则陷落深度变小。陷落柱内岩块杂乱无章，排列紊乱，棱角明显，胶结程度不一，由于生成年代久远，多为古岩溶塌陷，故多数陷落柱内堆积物已比较密实。值得指出的是，陷落柱各不同深度横截面的中心点的连线所形成的轴线形状，除与上覆塌陷岩层的岩性及组合、产状，层理、节理及断裂发育状况有关外，还反映了所在地区岩溶发育的历史和陷落柱形成过程中构造运动状况，图 3-30 是开滦范各庄突水陷落柱的剖面形态，其轴线上部垂直于地面但与岩层面斜交，而下部垂直于岩层面但斜交于地面，且顶部具有 5.2 万 m^3 的无充填的空间，这些说明该陷落柱形成过程比较漫长，且突水前可能仍处于活动状态，陷落柱轴线的转折处可能对应着一次较明显的地壳运动。

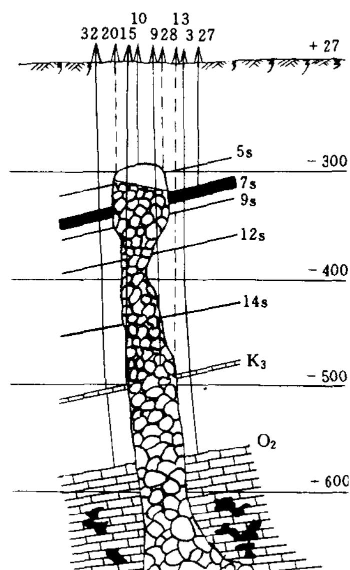


图 3-30 2171 陷落柱剖面形态

由于陷落柱是上覆岩层岩块的塌陷堆积，其密实程度变化较大，相对于围岩而言其强度也较低，空隙性较好，陷落柱周边与围岩的联结也较脆弱，陷落柱外侧岩层通常裂隙也较发育，故岩溶陷落柱不仅对煤层开采有明显的影响，而且往往成为地下水突入矿坑的通道，除了开滦范各庄陷落柱突水之外，还有其它煤矿区也曾发生多次陷落柱突水（表 3-4），而且随着开采深度的增加，陷落柱突水的现象可能会更多。

表 3-4　岩溶陷落柱突水统计表

矿名	突水地点	时间（年、月、日）	涌水量（m^3/min）		突水通道	主要含水层	水动力条件	备注
			最大	稳定				
山西霍县矿区圣佛矿	483 大巷	1967.1.28	7.8	7.0	断层与陷落柱	中奥陶统岩溶含水层	强径流带	483 大巷报废
山西霍县矿区曹庄矿	500m 水平大巷	1984.4	3.3		裂隙与陷落柱	中奥陶统岩溶含水层	强径流带	
河北井陉矿区三矿	采五层煤	1964.4.13	1.769	0.9	断层与陷落柱	中奥陶统岩溶含水层	强径流带	
河北开滦矿区范各庄矿	二水平 204 工作面	1978.3.8	59.7		裂隙与陷落柱	中奥陶统岩溶含水层	强径流带	淹没 -310水平以至巷道 70188m^3 空间
河北开滦矿区范各庄矿	2176 工作面	1983.6.3	14.08	9.0	断层与陷落柱	中奥陶统岩溶含水层	强径流带	
河北开滦矿区范各庄矿	2171 工作面	1984.6.2	2053	300	陷落柱	中奥陶统岩溶含水层	强径流带	突水殃及四个矿井
河南安阳矿区铜冶矿	103 工作面下顺槽	1965.8.25	23.3		陷落柱	中奥陶统岩溶含水层	强径流带	全矿被淹没
河南焦作矿区李封矿	东 18	1967	120.0		陷落柱	中奥陶统岩溶含水层	强径流带	造成天官区被淹
山西汾西矿区三教矿	九采下山副巷	1983.7.7	0.75		陷落柱	奥灰含水层		淹没了部分矿井
山西汾西矿区张家庄矿					陷落柱	奥灰含水层		陷落柱内积水，渗入巷道
江苏徐州青山泉一号矿井	山西组煤层太原群 17.20 号煤层 -204水平		6.0		陷落柱	奥灰含水层		陷落柱出水，淹没 -240水平
江苏徐州庞庄矿东城井	-280～-3172 工作面	1983.1	1.6	0.83	陷落柱	奥灰含水层		

陷落柱主要分布于我国北方石炭二叠系煤矿区，如图 3-31所示。在山西、河北、山东、陕西、河南、江苏等省近 20个煤田中，已发现陷落柱 45处，总数超过 2875 个，其中华东较少，山西、河北较多，尤以汾河两岸、太行山两侧煤田为多，如西山矿区已发现陷落柱 1300个，密度可达到 70个/km^2，霍县达 34.7 个/km^2（表 3-5）。

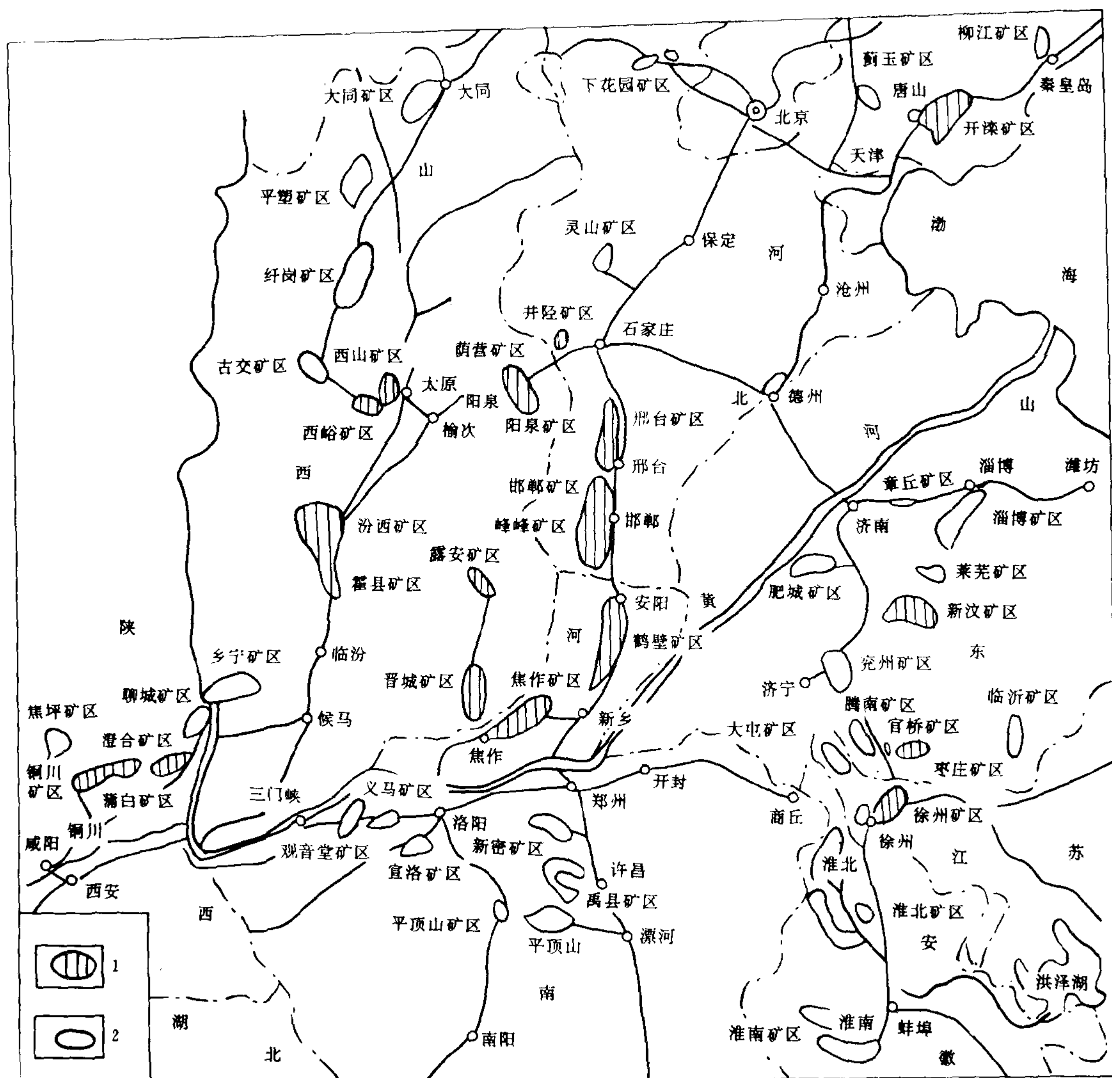


图 3-31　华北型煤田已发现岩溶陷落柱 矿区分布图

（据李金凯等）

1- 已发现岩溶陷落柱矿区；2- 未发现岩溶陷落柱矿区

在煤田中，陷落柱常常成群出现，成带状分布，沿一定的方向延展。例如，井陉矿区 $132km^2$ 范围内共见陷落柱 112 个，集中分布在一、二矿之间以及三矿和城关西北不到 20% 的范围内；阳泉矿区开采面积 $99km^2$，已见陷落柱 450 多个，集中分布于开采区的北部和南部，而中部约 $70km^2$，只有 10 个陷落柱；阳泉四矿开采面积 $12.25km^2$，见 82 个陷落柱，绝大多数分布在不足 $4km^2$ 的范围内，且明显地按 NW （主）及 NE （次）方向延展；峰峰一、二矿所见陷落柱，也按 NNE 向延展，与附近构造线相一致。陷落柱的这种集中分布，定向延展的特征，对于陷落柱的探测有较大的意义，在今后防治陷落柱突水中应该给予重视。研究控制陷落柱分布的古岩溶水动力场特征、矿区的构造格局和构造发展历史将有助于岩溶陷落柱的探查和水害防治。在矿区地质、地质历史和水文地质条件分

表 3-5 霍县矿务局陷落柱统计表

矿 名	开采面积 (km^2)	陷落柱个数	陷落柱直径 (m) 最小~最大/平均	密 度 (个/km^2)
辛置矿	5	51	16~125/49	10.2
曹村矿	1.3	25	19~80/41	19.2
下庄矿	2	144	6~77/25	72.0
圣佛矿	2.1	144	8~67/24	68.2
团柏矿	0.54	16	13~108/24	29.6
	合计 10.94	合计 380	6~125/35	平均 34.7

析的基础上，使用物探手段，配合少量钻探工程，加强矿井防排水措施，是可以避免陷落柱水害的。

第五节　大气降水及地表水充水特征

一、大气降水的充水特征

大气降水是矿坑充水最普遍的来源，也常是主要的充水水源，既可以是矿坑充水的直接水源，也可以是矿坑充水的间接水源。当煤层位于地下水位以上或处于分水岭，斜坡地段以及埋藏较浅且围岩富水性很弱，矿区附近又没有较大的地表水体时，大气降水将成为矿坑的主要充水水源。

露天开采条件下，一部分大气降水直接进入矿坑，成为矿坑水的组成部分，一部分大气降水渗入地下，再通过露天边坡或坑底进入矿坑。在露天周边设置防排水沟渠或在露天的边坡地带设置疏降地下水的钻孔，将有效地减少进入矿坑的水量。在井工开采条件下，大气降水可以通过冒落裂隙带或原来存在于煤层以上的一些裂隙直接进入矿坑，也可以先补给含水层，再通过这些含水层进入矿坑。在许多矿区，大气降水常常是矿区地下水的唯一来源或者最主要的来源。

在以大气降水为主要充水水源的矿井（露天），矿坑涌水量与大气降水的数量，性质及延续时间有密切的关系（图 3-32、图 3-33），具明显的季节性变化，最大涌水量出现在雨季和融雪季节，暴雨后常常出现峰值流量。在丰水年间或雨季，矿坑涌水量有大幅度的增加。在开采浅部煤层时，矿坑水量随着走向的开拓长度、开采面积的增加而增加。当开采区位于地形低洼地段、沟谷地段时，矿坑水量常有较多的增加。此类以大气降水为主要充水水源的矿井，在开拓深度增大后，当冒落裂隙带的高度再不能达到地表后，开拓深度的增加，往往不会引起矿坑涌水量的增加，反而会使之变小。例如，湖南湘永煤矿矿井排水量旱季为 $40m^3/h$，雨季增大到 $136m^3/h$，为旱季的 3 倍多，季节变化明显；同一煤矿，当开采面积由 $0.257km^2$ 增加到 $0.514km^2$ 后，井下排水量也由 $53m^3/h$ 增加到

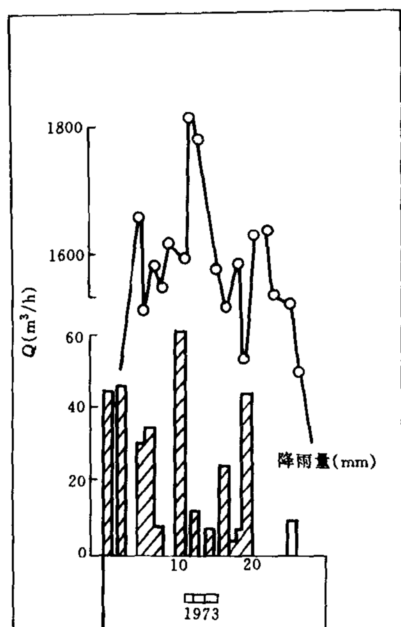


图 3－32　茶山岭矿井

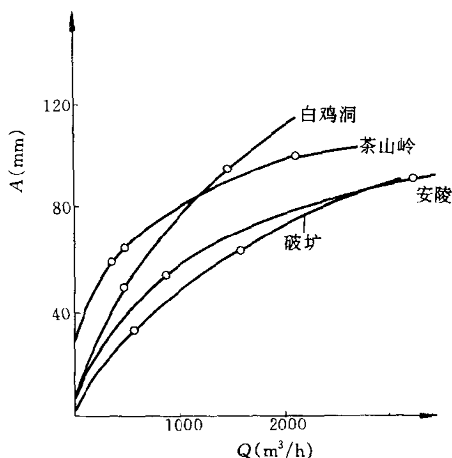


图 3－33　降雨强度与矿井涌水量关系

102m³h，约增大了 1 倍。又如，周家坳井开采＋125m 水平时，矿井排水量达 800m³/h，而同一矿区的伍家冲井开采－180m 水平时，矿井涌水量仅为 200m³/h。在贵州、湖南等地的许多地处分水岭及斜坡地带的矿区，旱季井下一般干涸无水，雨季也仅有顶板淋水。在南方还有些岩溶裸露地区的矿井，由于浅部岩溶发育，开采煤层虽然位于地下水位以上，旱季无水，但雨季水位迅速上涨，水量很大，因而一些小煤窑便根据这个特点进行季节性开采。

以大气降水为主要充水水源的矿床，其矿坑涌水量受降水量的控制具有明显的分区特点。降水量小的地区，如西北地区，其矿坑涌水量也小；而降水丰沛的南方，矿坑涌水量普遍则较大一些。除了降水数量之外，还有降水的性质亦和矿坑充水量关系比较密切，南方降水以降雨为主，则在暴雨之后易形成矿坑的极大涌水量，年矿坑涌水量历时曲线上只有一个峰值区段。在北方，除了降雨之外，还有降雪，一般矿井涌水量年变化曲线可能有两个峰值段，但峰值多较平缓，量也较小。

二、地表水体的充水特征

当矿区内或矿区附近存在着较大的地表水体，而这些地表水体的标高又高于煤层开采标高时，评价这些地表水体对矿床充水的作用，是矿床充水条件研究的一个主要内容，避免地表水直接注入矿坑是一个重要的原则。地表水体对矿床充水的作用主要取决于下列因素。

1．地表水体的位置

地表水体与煤层在相互位置上有三种组合关系，即地表水体位于煤层或采区上方；地

表水体位于煤层或采区的附近；地表水体离煤层或采区较远。在第一种情况下，地表水体与煤层的间距、煤层开采后冒落裂隙带是否能够达到地表水体，是决定地表水体对矿床充水作用的关键因素。在第二、三种情况下，地表水体通常只能成为补给水源，不能直接进入矿井，它们一般通过直接充水含水层后才能进入矿井。如果地表水体与强透水性的直接充水含水层因自然或人为原因发生密切的水力联系时，也可能引起大量的地表水进入矿井，甚至造成淹井事故。例如，湖北黄石矿区瓦嘴矿就是因为大冶湖在雨季水位急剧上涨，淹没了渗透性能良好的长兴硅质层的露头地段，导致湖水大量进入矿井而造成淹井的。在一些岩溶矿区，在疏排地下水之后，可能在地表水体之下形成塌陷，造成地表水大量进入矿井。例如，1990 年 6月，恩口矿区暴雨后，壶天河水猛涨，河水通过新产生的塌陷洞倒灌入茅口灰岩后进入矿井，造成恩口一、二井被淹。

2. 地表水体与煤层间是否有可靠的隔水层

即使地表水体位于煤层的上方，其间距也不很大，但只要它们之间有比较可靠的隔水层存在，则往往不会造成大量的矿井充水。例如，微山湖地区，由于湖下普遍存在有厚度约 20m 的粘土层，粘土层隔水性能良好，而且变形时以塑性为主，不会产生导水裂隙，加上其下还有其它岩层与煤层相隔，故湖水对煤层的开采不会构成严重威胁；山东黄县煤田情况也是如此，煤层延伸于海水之下，但因其间有可靠的隔水层，故海水不能大量进入矿井而危害矿井的开采。当然，在开采接近煤层的海下隐伏露头地段时，还是要采取一些必要的防治水措施的。

3. 地表水体与矿区内含水层的关系

如果地表水不能直接进入矿井，则只可能作为补给水源通过其它含水层进入矿井。此时，它与含水层的水力联系程度以及含水层的渗透性能就成为它向矿井充水作用的主要条件。在含水层的渗透性能较弱或者与地表水的水力联系程度较弱的情况下，即使地表水体水量很大，它向矿井的充水量也是较小的；只有在含水层的渗透性能很强、地表水体水量较大的情况下，才构成对矿井的严重威胁，此时研究含水层对地表水的补给量（或地表水体的渗漏量）对于阐明地表水体对矿井的充水特征是必要的。

4. 地表水体自身的特点

地表水体自身的特点，包括它是季节性地存在还是常年存在，以及它们的水量、水位、水质、泥砂含量等。水量大的地表水体，其向矿井充水的潜在能力也大；常年存在的地表水体向矿井充水的时间长、影响也大。

地表水体对矿井的充水强度由以上四个主要方面的因素所控制，对矿床充水特征的研究而言，要特别注意那些与矿区的强含水层有密切的水力联系的，或者煤层冒落裂隙带的高度能够达到的那些水量较大的地表水体。一般来说，那些水量大、常年存在，和矿区地下水有密切水力联系的地表水，可能形成开采条件下矿井地下水的定水头补给边界，成为矿井水的较稳定的主要来源。反之，如果地表水体下只有弱透水层，与矿区地下水关系不甚密切的话，则矿井疏排地下水而造成的水位降落漏斗便可能越过地表水体向外扩张，此时地表水体便成为渗漏补给边界（图 3-34）。

地表水体对矿床充水的作用，还可能随着其水量水位的变化而有所不同，前述瓦嘴矿被淹一例，便是由于大冶湖水位上升，从而改变了矿井充水特征的结果。

地表水体对矿井的充水作用，还与地表水含泥砂情况等特征有关。当地下水补给地表

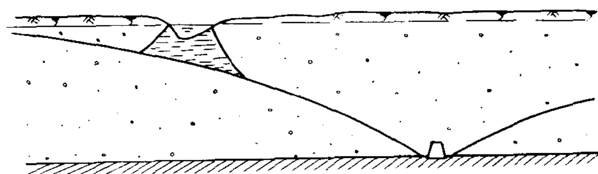


图 3－34　地表水体形成的渗漏补给边界

水时，泥砂不会堵塞其通道，但是当地表水体补给地下水的情况下，地表水体中的泥砂便会淤塞水流通道，这种情况特别容易发生在洪水期间。在准格尔等矿区黄河流经灰岩地带，可以形成宽达 2～3km 的河流泥砂充填带。

在天然状态下，河流和湖泊可能接受地下水的补给，也可能补给矿区地下水，但在矿床开采以后，则多成为矿床直接充水含水层的补给来源。

第六节　老窑水及封闭不良的钻孔的充水特征

一、老窑水的充水特征

我国煤矿开采历史悠久，许多矿区浅部都有许多废弃的老窑。如据淄博矿务局统计，矿区内有老窑 2200 多个，积水达 3000 多万立方米。其中，黑山矿井 11km^2 范围内，已查出老窑就有 360 多个，积水 580 万 m^3。老窑积水后便形成老窑水，它们象小水库一样分布于生产矿井的上方，对采煤构成直接威胁，危害甚大。有的老窑积水补给缺乏，是一坑死水，有的可以得到大气降水的补给，并以泉的形式排泄，有的相邻老窑中的水可能相连通。老窑水向矿井充水常以迅猛的特点，没有补给水源的老窑水，短期内即可排干，但是由于它可以在短时期内造成大量的水突入矿井，往往也可能造成较大的灾害。当老窑水突然溃入矿井，而且与地表水连通或者因暴雨中大量雨水注入老窑渗入井下时，则可能造成淹井事故。例如，湖南马田煤矿高泉矿井，因老窑积水突然溃人造成淹井事故；白沙矿白山坪井，由于老窑与河流相连，当该井遇老窑时，河水灌入井下，造成淹井；红卫煤矿龙家山井，1971 年老窑一次突水 1 万 m^3 以上，淹没轨道上山，死亡 6 人 。

由于老窑数量较多，开采年代久远，没有较详细的资料记载，其位置、深度不易准确确定，往往给防治老窑水带来许多困难。为了防治老窑水，往往需要在井下打超前钻，探水、放水，在地面堵填老窑塌陷带，修筑排水沟等。利用调查访问、水文地质填图、地面物探、浅钻等手段，尽量查清老窑的位置、采空区范围、深度、积水状况，有无补给来源及水质情况，以采取必要的防、排水措施，减少充水水量避免老窑水突然溃入矿井。

老窑水除了突然溃入矿井外，在采区接近老窑时，老窑水也可以以淋水、渗水、滴水等形式进入矿井，对补给缺乏的老窑水而言，则也可能逐渐被疏干，而不致于发生突然溃水，但对于补给条件较好的老窑水而言，则可能成为浅部煤层开采时的矿井充水的一项重要的水的来源。

由于老窑中煤层及顶底板岩层中黄铁矿的氧化作用，老窑水可以形成酸性的强腐蚀性

水，对矿山设备破坏甚大，特别是那些煤层顶底板碳酸盐岩类较少而以砂页岩为主，交替循环条件较差的老窑水更易形成强酸性地下水。

老窑水对煤矿的危害主要发生在开采浅部煤层的时候。在查清了老窑采空区的范围、深度、积水状况及有无补给来源等情况后，可以采取必要的措施改变老窑水的充水条件，防止老窑水突然溃入矿井，可考虑预先疏排（地面或地下）的方式消除老窑溃水的危害。

二、封闭不良的钻孔的充水特征

在煤田勘探中，有很多钻孔要穿过多个含水层。当可采煤层之下有直接充水含水层时，还必须有足够的底板延深钻孔揭露它。按照要求，在煤田勘探中的各类钻孔，竣工后都要进行封孔。封孔的目的就是为了防止钻孔成为矿井充水的通道，成为沟通矿区各含水层水力联系的通道。近些年来，钻孔的封闭工作已引起了各有关方面的足够重视，在地质勘探过程中采取了比较切实可行的封孔方法并进行封孔检查，使封孔质量有了很大的提高。今天人们之所以能普遍地认识到封孔工作的重要性，则是因为过去在封孔问题上我们吃了许多苦头的结果，我们研究封闭不良的钻孔的充水特征，则是在万一发生此类充水时能及时发现它们，及时地得到处理。

肥城矿区的含煤地层为石炭二叠系，其沉积基底为中奥陶系灰岩。二叠系山西组有2、3、4 等 3个可采煤层，石炭系太原组有 7 个可采煤层，并有石灰岩 6～7 层，其中主要的是四灰和徐灰，其厚度比较稳定，富水性较强，且距区域性强含水层奥陶系灰岩很近，四灰是煤 13 的顶板。矿区内中一井，矿井涌水量长时期大而稳定，从水源分析上讲，可能是徐灰和奥灰水导入，但又找不到它们进入矿井的途径，大量的资料已经反映出断层和裂隙带导水性差、水量很小，水从何而来呢？为此，又施工了一些水文地质钻孔，其中又由于观测孔水 21号和水 20 号封孔不良水位出现假象，进一步使问题复杂化。后来，终于查出了该矿水量长期过大的原因，是由于勘探中少数钻孔封闭不良，致使徐灰水通过钻孔补给四灰，再由四灰涌入矿井的原因。重封了这些钻孔，矿井水量也大幅度地减少了（图 3－35)。从图 3－35 可以看出，重封了 328号钻孔后，矿井中四灰涌水量便减少了309t/h，以后稳定减少量 259t/h ；重封水 16 号孔，矿井四灰涌水量每小时又减少了几十t；重封 2 号孔后矿井涌水量进而又有明显的减少，直至后来四灰涌水量一直减少到51.19t/h ，其中还包括徐灰底鼓经堵水或冒顶重新压实后的剩余水量。可见封闭不良的钻孔在矿井充水中占据了主要地位，而通过断层、裂隙补给四灰的水是不多的。肥城中二井也有封闭不良的钻孔问题，在 F_{16}断层以东矿井四灰涌水量为 80t/h，重封其附近的补 171 号孔后，四灰涌水量每小时减少了 50t。在中一井、中二井重封封闭不良的钻孔以后，其等水位线图也就合乎规律了，而在此之前，有明显的反常（图 3－36)，导水钻孔的四灰水位比邻近钻孔的四灰水位高出许多。

未封闭钻孔或封闭不良的钻孔人为地加强了各含水层之间的水力联系，使直接充水含水层的补给条件得到改善，增大了补给量，使矿井水量随之增大，特别是直接充水含水层能通过钻孔得到强含水层的补给时，常常使矿井水量大而稳定，难于疏干，同时造成钻孔附近呈高水位异常。

钻孔除了沟通直接充水含水层与其它含水层的联系之外，也可能造成有关含水层通过钻孔直接向矿井充水的作用（图 3－37)，在这种情况下，对煤矿的开采具有更大的威胁，

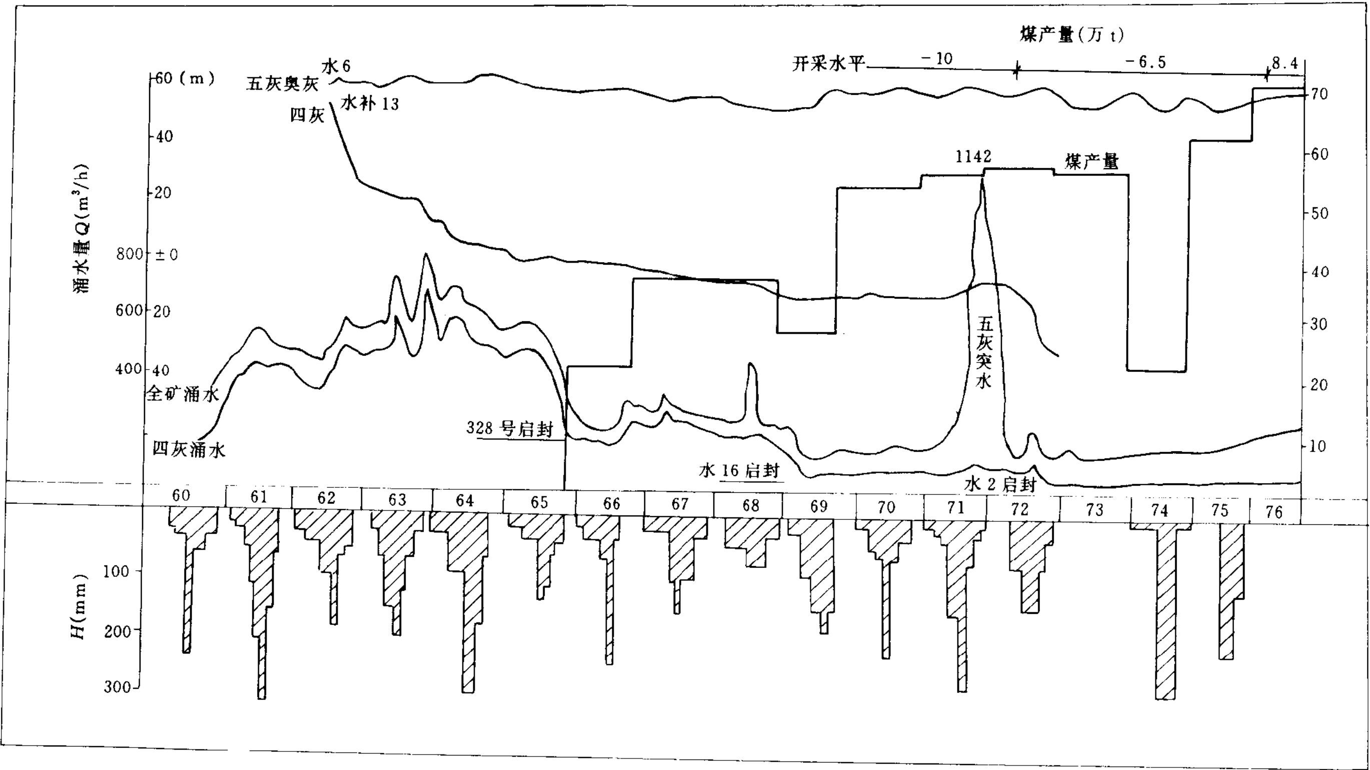


图 3－35　肥城中一井矿井涌水量与大气降水、钻孔重封等因素的关系

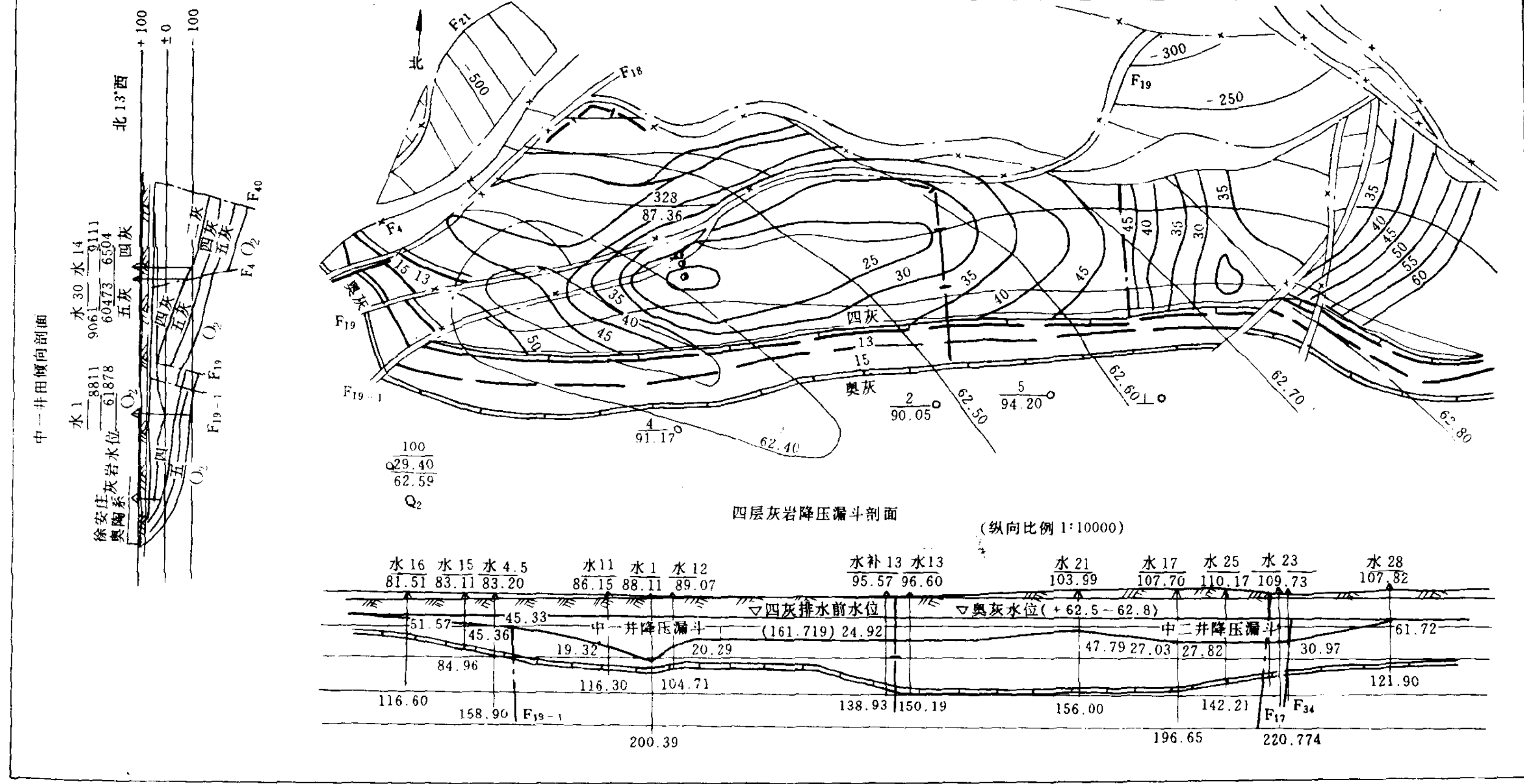


图 3-36 肥城中一井、中二井四灰、奥灰等水压线图

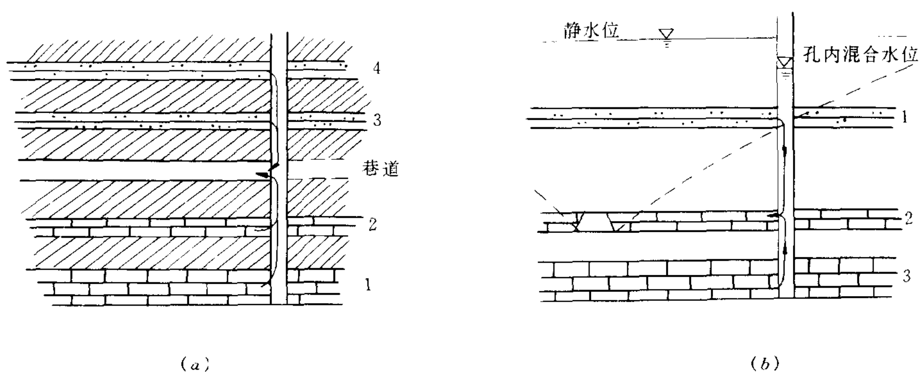


图 3－37 封闭不良的钻孔对矿井充水影响示意图
a－钻孔所穿过的各含水层在井巷揭露后通过钻孔直接向矿井充水；
b－钻孔所穿过的各含水层通过补给直接充水含水层向矿井充水
(图中数字为含水层编号)

其水势较猛而水量也大，当钻孔所穿过的含水层补给条件较好时，水量大而稳定，即使钻孔所穿过的含水层补给条件不好时，其瞬间水量也可能很大，如果钻孔导致松散含水层水进入矿井的话，同时还可能伴随溃砂进入矿井。封闭不良的钻孔还可能勾通老窑，老空水，1981 年，大同王村矿在开拓 14 煤轨道巷时，由于 35215 钻孔封闭不良，导致小煤南坑采空区积水沿钻孔突入，造成 940m 巷道和部分设备被淹。

在地质钻孔施工结束后，一般要封闭钻孔。封孔的目的为了减少矿井的充水强度，封孔的结果应该维持矿区原有的天然流场状态。但是，从经济效益上考虑，则只要不造成矿井充水条件的恶化或其它问题，封孔也可以简化，允许对自然流场有某些改变。实际上煤层开采以后，自然流场一般情况下必然会产生变化，如果能在封孔时充分地考虑到矿床开采以后自然流场的变化状况，则封孔将可能使矿井充水条件向有利的方面转化。

第四章　煤田地下水的水化学特征

第一节　　水化学研究在煤矿床水文地质工作中的作用

地下水水化学研究工作是煤矿床水文地质学的重要研究内容之一。矿区地下水化学场是矿床水化学的研究对象。所谓矿区地下水化学场乃矿区地下水的化学成分在空间和时间上的分布：

$$M=F(x,y,z,t) \tag{4-1}$$

某一时刻的矿区水化学场反映了该时刻矿区地下水的水化学空间分布特征，这种特征可以表现在水质类型、矿化度或者水中某些离子含量等各个方面。在矿床水化学研究中可以根据不同的目的和具体条件选择不同的内容。矿区地下水化学场随时间的变化状况形成了地下水化学场的动态。地下水化学场的特征和动态通常和地下水的流场特征和动态相协调的。地下水流场的改变是其化学场变化的原因，而地下水化学场的变化通常也显示流场的变化。矿区地下水化学场是与地下水流场的研究同时进行的，一般是通过地下水的观测网（点）上的观测工作完成的。

煤矿床水文地质学所研究的地下水化学场的范围和内容，是根据矿井的建设和开发需要来决定的。在矿床水文地质学中，煤矿床地下水化学研究的目的主要有以下几个方面。

(1) 地下水的化学成分是在地下水的形成和运动过程中形成的。研究地下水的化学成分，揭示地下水化学场的特征，对于阐述矿床水文地质条件、分析地下水流场特点具有明显的作用。在分析地下水的补给来源、地下水的年龄、地下水的径流条件分区、地下水的排泄和交替强度、地下水与地表水或者各含水层地下水之间的水力联系程度，断层的导水性等方面有着广泛的用途。

在矿床水文地质学的研究中，根据所研究的地下水化学场的性质，可以将其划分为矿区地下水的天然水化学场、局部人工水化学场以及矿床开采后所形成的开采水化学场。在煤田地质勘探中，主要研究的是矿区地下水的天然水化学场和局部人工水化学场，从而预测开采后的地下水化学场。所谓局部人工水化学场，是通过人为的办法局部地改变地下水的天然水化学场，观测其变化状况或者其恢复情况，用以解决水文地质问题，属于此类局部人工水化学场的情况，包括中子示踪、扩散法测井、连通试验等。

(2) 矿区地下水水质研究也直接服务于矿区供水水源评价工作。解决煤矿区供水水源，是保证矿山开发的必要条件。矿区的建设不同于工厂的建设，工厂可以选择在水源等外部条件较好的地区，而矿区只能建设在煤炭资源条件较好的地区。其供水水源的选择只能按照先近后远的原则择优解决。在缺水地区要找到适合的水源地通常要及早地在大范围内进行工作。有些矿区及其附近，供水水源的水质和水量都得不到保证；有的矿区水量虽可满足，但多数水源的水质达不到要求。这些地区，在研究供水水源地的水质分布状况上

有更为重要的意义。根据煤矿区各用水户对水质的不同要求和矿区各供水水源地的水质现状，对供水水源的利用作出通盘的安排，对不同水质的水源“量质选用”，合理分配，将其中符合饮用水标准的水源优先用作生活用水。水质较差者则作为工业用水。在供水水源缺乏的地区，常常需要根据供水水源的水质、水量情况对矿区的规模、总体平面布置、用水规划等作出合理的安排。

矿床地下水的综合利用常常是提高矿山经济效益的重要措施。从这个角度上讲，不仅是缺水地区，而且在所有的矿井涌水量较大的矿区都必须开展地下水的综合利用，必须研究矿床地下水的水质问题。我国矿井涌水量较大的矿区较多，矿床地下水的综合利用的重要性特别突出，尤其是在干旱半干旱地区。

（3）水质研究也是矿井防治水工作所必须的。在煤矿开采过程中，突水、溃水是经常遇到的水害现象。一旦产生溃水或突水，就要进行水源分析，找到突水的水源，采取相应的防治水措施，对于突水、溃水点的水质研究及和可能的突水、溃水水源水质的分析对比常常是不可缺少的内容。我国岩溶充水矿床分布比较普遍，尤以底板充水矿床为最重要，许多矿井利用隔水底板采用带压开采，突水现象屡有发生，对水质方面的工作也更为重要。利用水质研究成功的判断了矿井突水、溃水水源的例子是很多的。

（4）地下水化学场研究也是煤矿环境水文地质研究的主要内容。矿床的开采往往引起一些环境水文地质、工程地质问题，诸如矿区浅部水源枯竭、水质恶化，或者地表水、地下水水质被污染等。这些都可能使水资源受到破坏。另外，矿山长期供水大量开采地下水也可能引起水质变化。为了防止地下水资源受到污染，通常必须对地下水、地表水的水质进行长期监测和分析研究，预测其变化趋势，了解矿区内各种水体的水质、水量及相互联系程度等。

（5）矿床地下水的水质研究为矿山设备和建筑物的材质与维护提供资料。地下水对矿山设备及有关建筑的腐蚀性，常常是选择矿山设备的材质和水泥等建筑材料所必须考虑的，它影响着矿山设备和井下设施的寿命和正常使用。水质研究可以为矿山防治地下水的腐蚀危害提供必须的资料。

综上所述，在矿山开发过程中，无论是地下水的疏排和防治，还是矿区地下水的综合利用，都必须研究地下水的化学特征。随着矿山疏排水量的日益增大，随着矿山环境水文地质保护工作的重要性日益增加，研究矿山地下水的化学场的重要性也日益增加。

第二节　煤矿床地下水化学成分的形成

一、煤矿床地下水化学成分的形成作用

煤矿床是沉积类型矿床，矿区地下水主要起源于大气降水和地表水的渗入。由凝结水及岩浆水等起源的地下水，在煤矿床地下水中所占地位甚微，通常不是矿区水文地质工作的研究对象。第四纪泥炭，在我国一般不作为燃料开采利用。第三纪煤田，距今至少有数百万年的历史，其围岩的成岩程度稍低，在某些地区的某些岩层中，虽然仍可能保留着在沉积过程中埋藏起源的地下水，但在矿区地下水的研究中不占据重要的位置。在煤矿床水文地质学中，所研究的通常是可能成为矿井充水水源或者可能作为矿区供水水源的地下

水，通常是具有一定的水量，或者有一定补给来源的地下水。

煤矿床地下水的化学特征，是煤矿床地质历史的产物，是在一定的地质一水文地质条件下由一些特定的形成作用所形成的。形成煤矿床地下水的化学特征，通常有如下一些主要的作用。

(一)溶蚀作用

煤矿床地下水主要起源于大气降水和地表水的入渗，其化学成分则主要地取决于溶蚀作用的结果。大气降水和地表水渗入地下形成地下水，地下水赋存于含水岩层的空隙中，而且在不断地运动着。在地下水的形成、聚积和运动过程中，水和岩层之间会产生各种物理——化学作用，会对周围的介质产生溶蚀作用。地下水对岩石的溶蚀作用，包括溶解和溶滤两种方式。溶解是指矿物由于晶格被水破坏，或者分子之间的联结被水破坏，因而成为溶质溶于水中；溶滤则是地下水对岩石分解并带走某些组分的作用。溶解是一个可逆过程，而溶滤则通常为不可逆过程，但二者都是水对介质的溶蚀过程，都是极性水分子的引力场对各种物质分子吸引的结果。煤矿区分布的地层主要为沉积岩层，其矿物组成以硅酸盐矿物和碳酸盐矿物为主。岩层中的硅酸盐矿物溶解度很低，地下水对其溶蚀能力极弱；碳酸盐矿物虽亦多属难溶类矿物，但却是矿床地下水溶蚀的主要对象，并且在地下水化学成分的形成中有着重要的地位。一般的情况下，地下水溶蚀周围介质中碳酸盐矿物的能力取决于水中所溶解的 CO_2 含量。水中 CO_2 的来源主要为大气起源和生物起源。在煤矿床地区，碳酸盐矿物可以构成灰岩、白云岩、泥灰岩类岩层，出现在地质剖面中；也可以以胶结物的形式出现在砂岩、砾岩之中，或者充填在裂隙、孔隙内。以碳酸钙的溶解为例：



$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons Ca^{2+}\ 2HCO_3^-$$

溶解作用要得以持续进行，必须有 CO_2 补充，同时溶解的生成物能够从反应地点带走。这种要求可通过地下水的循环与交替或者地下水中化学组分的扩散作用来达到。地下水的直接运动和交替常能造成比较理想的溶解条件。但是，在那些径流相对停滞、缺乏水的积极的直接运动和交替条件的地段内，尽管溶蚀条件相对较差，但只要这些地段内的地下水与径流地带的地下水相连通，则溶蚀作用仍可能因为其间存在着离子浓度扩散作用而缓慢地持续下去。

浓度扩散作用可以用菲克第一定律来表述：

$$J = -D\frac{dC}{dS} \tag{4-2}$$

式中 J ——质点越过 $1cm^2$ 表面面积的流量，该表面垂直于扩散方向 S；

D——扩散系数；

$\frac{dC}{dS}$ ——为 S 方向上的浓度梯度。

在地下水对周围介质的溶蚀过程中，溶蚀作用的结果，通常是地下水运动和水中成分的扩散两种方式所共同造成的：

$$M = J_1 + J_2 \tag{4-3}$$

式中 J_1——由地下水直接运动所带走的离子数量；

J_2——由浓度（温度）差异向外扩散离开的离子数量。

在地下水对周围介质的溶蚀过程中，溶蚀所产生的离子成分，通常都是由地下水径流

微弱的地方，向径流较强的地方扩散，从径流停滞的地方，向有径流运动的地方扩散；水中 CO_2 的扩散方向则相反。扩散作用可能因浓度差异而引起，也可以由地下水中的温度差异形成。地下水中各部分的温度变化及温度差异常形成其溶蚀能力的差异，进而引起化学成分上的差异和扩散现象。

在地下水运动的途径上，因水不断地对介质溶蚀而消耗水中的 CO_2，溶解作用逐渐变弱，当水中 CO_2 消耗殆尽后，溶蚀作用也就停止下来。在地层浅部， CO_2 可以从大气层生物活动（主要产生于土壤层内）中得到补充，但在深度增加后，CO_2 的来源缺乏，是浅部的溶蚀作用强度通常要比深部大的重要原因。溶蚀作用使得介质中原有的空隙逐渐扩大，也同时改善了地下水的循环条件，强化了溶蚀作用。当溶蚀空隙足够大后，水流的冲刷和侵蚀作用将逐渐占据重要的地位，形成大型的岩溶空间和地下水的良好的交替循环条件。

影响地下水的溶蚀结果的因素，除了岩层中可溶盐矿物的种类、数量和水中 CO_2 的含量以外，还与地下水的温度和压力有关。在常压下，温度增高，水中溶解的 CO_2 减少，常导致碳酸盐矿物的溶解度减小。但是在含水层中，在地下水向深部径流时，压力和温度均可能增高，情况则比较复杂。较高的温度和压力改变了各种盐类在水中的溶解度，使得围岩中一些在冷水中不易溶解的矿物发生溶解，使 SiO_2、B、Na、K、Li、Rb、Cs、As 含量有明显的增加。

矿床地下水，除了溶解碳酸盐矿物外，还有石膏层、黄铁矿和菱铁矿层也是其常遇到的溶蚀对象。石膏层多为潟湖相沉积，夹于碳酸盐岩系之中。含石膏层的层段通常在水文地质剖面中组成相对隔水层段，在天然状况下不会产生大量的溶解。在碳酸盐岩层中，特别是一些泥质含量较高的层位中，也经常有一些散状的石膏矿物，可能遭受逐渐的溶蚀。在断裂带处，或在封闭止水不良的钻孔中，附近的石膏层则可能成为地下水化学成分的重要形成因素。黄铁矿、菱铁矿主要分布于煤层和泥质岩层之中，它们在还原环境中比较稳定，但是在煤层开采以后，在氧化环境中，特别是在矿井浅部，它们易于遭到分解而可能成为不可忽略的因素。

溶解作用所形成的离子成分存在于地下水中成为地下水的化学组分，在地下水交替循环较强烈的地段，所生成的溶蚀产物较迅速地带走，不会聚积起来，其矿化程度则较低；而在径流滞缓的地带，溶蚀作用进行得比较彻底，溶蚀产物聚积在水中，溶蚀作用达到动平衡状态，其有关离子成分受该地段上水的温度、压力及 CO_2 含量等因素控制，一般有较高的矿化程度。

（二）地下水之间的混合作用

不同成分的地下水之间，地下水与地表水之间的混合作用在自然界是经常地、大量地存在的，也是控制矿区地下水水化学特征的形成、演化和现状的主要因素。在自然界，各个含水层之间，地下水与地表水、大气降水之间，总是存在着某些直接的或间接的联系。在开采地下水或者矿山排水过程中，一般被开采或被疏排的含水层的水位均将产生大幅度的下降，从而使含水层与其它含水层或地表水体间的联系加强，导致该含水层获得其它含水层或地表水体、大气降水补给的能力增强，使得混合作用在矿区地下水的化学特征的形成上占据了更重要的地位。

不同的含水层（体）中的地下水混合后，其水质会产生相应的改变，变化状况取决于参加混合的各含水层的地下水的原始水化学特征和混合条件。混合作用是一个比较复杂的物理化学过程，混合后的地下水不仅在化学组分的含量上与混合前有明显的差别，而且常常具有一些新的水化学特性，参加混合作用的一些地下水的某些组分之间可能会发生一些化学反应，生成一些沉淀物或气体逸出物。但是对于水中没有参加化学反应的任一离子成分，或者是虽然参加化学反应，但是没有形成不溶物质而沉淀、逸出的离子成分，只要它们继续留在水中，根据物质不灭定律，下式成立：

$$A_1Q_1 + A_2Q_2 = (Q_1 + Q_2)\ A_{1+2} \quad (4-4)$$

式中　A_1、A_2 —— 分别为含水层 1、2 中某种成分 A 的含量；

A_{1+2} ——为含水层 1、2 以水量 Q_1、Q_2 混合后 A 成分的含量。

对于水中的离子成分，也可以根据当量守衡定律得到相同的表达式：

$$N_1Q_1 + N_2Q_2 = N_{1+2}\ (Q_1 + Q_2) \quad (4-5)$$

式中　N_1、N_2 ——分别分含水层 1、2 中某种成分 A 的毫克当量含量；

N_{1+2} ——为含水层 1、2 分别以水量 Q_1、Q_2 混合后 A 成分的毫克当量含量。

从式（4－4）和式（4－5）中可以看出，混合后水中某种离子成分 A 的含量，一般将介于混合前两种地下水中该种离子成分的浓度之间。

K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}、HCO_3^- 等 7 种离子通常是地下水中最主要的成分，广泛地存在于矿区各含水层的地下水中。K、Na、Ca、Mg 的盐酸盐、硫酸盐、重碳酸盐均比较易溶于水。虽然其中硫酸钙和重碳酸钙、重碳酸镁溶解度较小一些，但是在地下水混合前水中 Ca^{2+}、Mg^{2+} 即是由其重碳酸盐和硫酸盐溶解而形成的。当地下水混合时，此 7 种离子之间，一般是不会形成不溶于水的沉淀物的。吉林煤科所罗庄等同志，对各类淡水、低矿化盐水间的混合作用，进行了较多的研究工作，并作了大量的模拟试验，其中，水中的 7个主要离子的含量基本上符合式（4－4）和式（4－5）所描述的规律（表 4－1)。表 4－1 只是较多的分析资料中的一部分随意性抽样成果。在淡水和弱矿化水中，化学成分中的各基本组成部分实际上是完全离解的。而在咸水和盐水中，离子可以呈自由态，也可能成离子偶或更复杂组合，这些组合离子与自由离子间存在动力平衡，地下水混合后化学成分的变化可能较淡水和弱矿化水复杂，但式（4－1）所描述的规律，在一般条件下，仍是会起主导作用的。利用对这种规律性的认识，可以探索地下水的形成演化过程，也可以评价混合作用在水化学特征的形成中的地位。例如，同位素水化学方法，便需利用这种原理。

地下水混合后在化学特征上也可能有一些明显的差别，混合水的 pH 值及氧化一还原电位等可能会有较多的改变，产生化学反应和形成一些新的物质：

（1）当两种地下水中分别含有不相容的气体成分（例如，氧和硫化氢、氧和 CO 等）时，因水的混合而将使得这些气体之间产生化学反应，其结果，可能生成非气态物质，也可能生成新的气态物质：

如

$$2H_2S + O_2 = 2S + 2H_2O$$



$$2CO + O_2 = 2CO_2$$

（2）除了水中的气体成分以外，还有缺氧和富氧的水的混合，常引起一些低价离子氧

表 4-1　不同混合比的水样的模拟试验结果表

项目 / 水样编号	Ca^{2+}	差　值	Mg^{2+}	差　值	SO_4^{2-}	差　值	HCO_3^-	差　值	矿化度
1号实测	57.31		15.69		95.58		34.78		468.16
2号实测	28.86		7.54		3.84		96.94		162.70
1、2号按1:1混合实测	43.29		11.67		41.31		67.12		306.07
1、2号按1:1混合计算	43.09	-0.20	11.67	0	37.94	-3.37	65.90	-1.22	285.26
1、2号按1:4混合实测	35.07		8.88		17.77		96.41		246.35
1、2号按1:4混合计算	34.47	-0.60	9.12	+0.24	22.19	+4.42	84.20	-12.21	222.85
1、2号按4:1混合实测	51.90		13.98		60.52		45.76		380.33
1、2号按4:1混合计算	51.70	-0.20	14.11	+0.13	58.12	-2.40	46.38	+0.62	379.01
3号实测	35.87		5.47		2.40		149.50		208.38
4号实测	52.50		20.06		57.64		78.10		416.81
3、4号按1:1混合实测	43.69		12.89		33.14		117.77		320.96
3、4号按1:1混合计算	44.29	+0.60	12.89	0	30.26	-2.88	114.11	-3.66	314.20
3、4号按1:4混合实测	48.10		17.02		37.46		95.19		361.45
3、4号按1:4混合计算	49.30	+1.20	17.15	+0.13	46.59	+9.13	92.14	-3.05	373.67
3、4号按4:1混合实测	37.88		9.00		9.13		137.90		245.84
3、4号按4:1混合计算	39.08	+1.20	8.39	-0.61	13.45	+4.32	135.46	-2.44	250.02
5号实测	278.76		62.50		261.28		313.52		1627.18
6号实测	168.34		27.36		164.74		271.53		931.80
5、6号按1:1混合实测	221.44		45.36		208.93		288.62		1279.27
5、6号按1:1混合计算	223.65	+2.12	44.87	-0.49	213.25	+4.32	295.33	+6.71	1280.87
5、6号按1:4混合实测	188.58		35.75		181.55		276.42		1064.74
5、6号按1:4混合计算	190.38	+1.80	34.41	-1.34	183.95	+2.40	280.69	+4.27	1070.82
5、6号按4:1混合实测	254.71		55.69		242.07		305.71		1504.56
5、6号按4:1混合计算	256.71	+2.00	55.45	-0.24	242.07	0	309.37	+3.66	1488.42
7号实测	29.06		4.26		0.96		135.46		193.12
8号实测	109.22		30.52		85.97		128.75		832.83
7、8号按1:1混合实测	67.53		17.63		43.23		154.38		505.57
7、8号按1:1混合计算	69.14	+1.61	17.39	-0.24	43.71	+0.48	158.65	+4.27	513.13
7、8号按1:4混合实测	92.38		25.66		69.64		170.39		718.20
7、8号按1:4混合计算	93.19	+0.81	25.29	-0.37	69.16	-0.48	172.07	+1.68	704.66
7、8号按4:1混合实测	45.69		9.48		17.29		136.07		321.82
7、8号按4:1混合计算	45.09	-0.60	9.48	0	17.77	+0.48	144.66	+8.59	320.87
11号实测	146.89		16.05		66.28		101.29		696.02
12号实测	23.65		5.59		11.53		68.54		139.27
11、12号按1:1混合实测	84.17		11.31		43.71		82.34		432.71
11、12号按1:1混合计算	85.37	+1.20	10.82	-0.49	38.90	-4.81	84.88	+2.50	418.33
11、12号按1:4混合实测	48.50		7.42		24.98		70.78		249.80
11、12号按1:4混合计算	48.30	-0.20	7.66	+0.24	22.57	-2.41	75.05	+4.27	250.88
11、12号按4:1混合实测	122.85		13.25		56.68		90.92		575.82
11、12号按4:1混合计算	122.24	-0.61	13.98	+0.73	55.23	-1.45	94.58	+3.66	584.30
13号实测	218.44		32.59		207.49		238.50		1100.19
14号实测	235.67		65.90		388.08		391.06		1493.92
13、14号按1:1混合实测	226.05		48.40		296.35		255.06		1275.88
13、14号按1:1混合计算	227.05	+1.00	49.25	+0.85	297.29	+1.44	264.82	9.76	1297.33
13、14号按1:4混合实测	229.86		58.12		351.58		273.37		1370.46
13、14号按1:4混合计算	232.26	+2.40	59.34	+1.22	252.06	+0.48	280.69	+7.32	1415.86
13、14号按4:1混合实测	223.25		37.33		243.03		233.70		1153.50
13、14号按4:1混合计算	221.84	-1.41	39.28	+1.95	243.51	+0.48	249.57	+15.87	1179.37

化为高价离子，常见的是 Fe^{2+} 氧化为 Fe^{3+} 而形成氢化铁沉淀。两种成分不同的地下水的混合也常增大水中某些成分的离子的稳定性，如 SO_4^{2-}、Na^+、OH^- 增多，常会使水中的氟稳定性增加，使之易于富集；而 Ca^{2+}、Fe^{3+}、Al^{3+} 增高，则可能与氟形成沉淀，使水中含氟量降低。

(3) 两种地下水混合后，常常产生混合溶蚀作用。即不论混合前两种地下水是否处于饱和状态，也不论其浓度、温度是否相同，其混合后一般具有某种程度的新补充的溶蚀能力。其中包括，浓度混合溶蚀和热混合溶蚀方式。浓度混合溶蚀为混合水间的浓度差异所造成。热混合溶蚀为混合水间的温度差别所造成。在混合条件下，含大量碳酸钙的水具有更强烈的侵蚀性。

实验表明，两种不同的饱和水溶值 W_1 和 W_2 的混合作用是沿一条曲线 W_1CAW_2（图 4-1）进行的。在 17℃时，W_1 含 73.9mg/L 的 $CaCO_3$，其中需 1.2mg/L 的平衡 CO_2；W_2 中含 272.7mg/L 的 $CaCO_3$，需 47.0mg/L 的平衡 CO_2；W_1 与 W_2 以 1∶1 混合后，1L 水中可以获得 173.7mg/L 的 $CaCO_3$ 及 24.1mg/L 的 CO_2。但是，137.7mg/L 的 $CaCO_3$ 只需 9.9mg/L 的平衡 CO_2（相当于 C 点的横坐标值），相应余下的 14.2mg/L 的 CO_2（为此时水中 CO_2 量 24.1mg/L 与所需的平衡 CO_2 9.9mg/L 之差，相当于 C、T 两点间距）为游离 CO_2，一部分（BT 部分）可继续溶解 $CaCO_3$，另一部分 BC 则和补充溶解的 $CaCO_3$ 起平衡作用，补充溶解的 $CaCO_3$ 的量相当于 AB 部分。

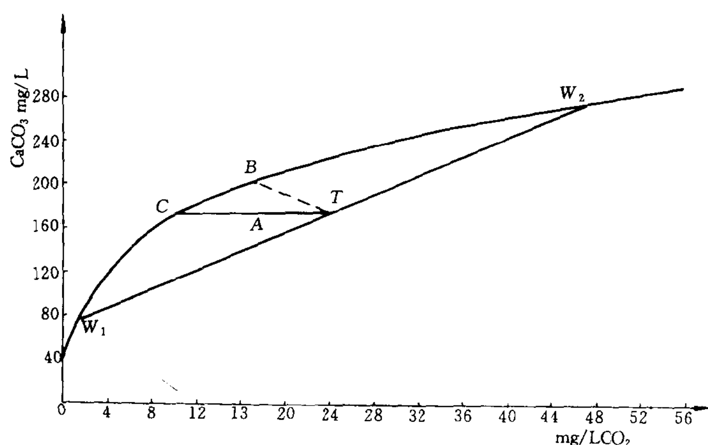


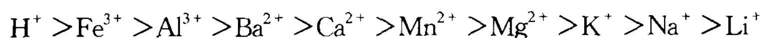
图4-1　混合溶蚀作用的形成示意图
（据伯格利）

两种温度不同、饱和度相同的水相混合，表现出温度的降低，溶解相同的 $CaCO_3$ 所需的 CO_2 量可以减少，就有相应的 CO_2 变成游离性 CO_2，其中一部分成为侵蚀性 CO_2，就具有补充溶解 $CaCO_3$ 的能力。例如，有两种水 W_1 和 W_2 混合，混合比为 1∶1。W_1 水温为 15℃，$CaCO_3$ 含量 508.7mg/L，结合 CO_2 为 223.9mg/L，平衡 CO_2 为 263.1mg/L；W_2 水温为 9℃，饱和时含 $CaCO_3$ 为 151.7mg/L，结合 CO_2 为 66.5mg/L。两种水混合后，水温应为 12℃，$CaCO_3$ 含量为 330.2mg/L，平衡 CO_2 含量应达 133.9mg/L，但是，在混

合水中，330.2mg/L 的 $CaCO_3$ 其结合的 CO_2 为 14.52mg/L，平衡 CO_2 为 65.6mg/L，那么 133.9－65.6＝68.3mg/L 的 CO_2 将转变为游离性 CO_2，进而使其具有侵蚀性。

（三）离子交换作用

岩石表面通常是带电的，大多数岩石带有负电荷，具有吸附阳离子的能力。岩石表面之所以常带负电，则是因为岩石的颗粒主要是由带负电的粒子（SiO_2 型、Al_2O_3 型）构成的。在一般情况下，因许多岩石表面都吸附有某些阳离子，而和同时赋存于岩石中的地下水的阳离子成分间形成动态平衡。但是，当水中离子的浓度和种类发生变化时，水和岩石之间则将发生阳离子交换作用。岩石表面对离子的吸附强度，取决于水中离子的性质（主要是离子的电荷与离子半径）和浓度以及岩石的性质（主要是比表面积）等。水中的阳离子的电荷愈大，离子半径愈大，就更有可能被岩石表面所吸附。从离子性质这个角度，其交换能量的大小有如下序列：

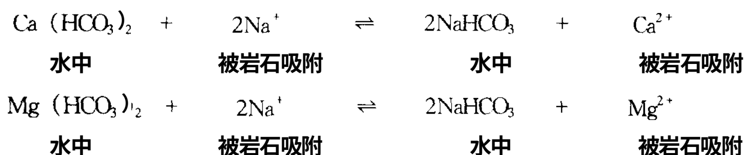


$$H^+ > Fe^{3+} > Al^{3+} > Ba^{2+} > Ca^{2+} > Mn^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+ > Li^+$$

除了离子自身的性质以外，还有离子的交换强度随着该种离子的浓度的增加而增加。由于水中 H^+ 具有最大的交换能量，它阻碍着其它阳离子的交换，因而水中氢离子越多则其它阳离子加入阳离子交换作用的能力愈弱，机会也愈少。

在含水层中，地下水处于不断地运动和交替之中，发生阳离子交换的现象还是比较普遍的，特别是在地下水流过泥质岩类的地段上。在阳离子交换吸附时，阳离子之间是按等当量进行交换的，因离子交换，地下水中失去某些阳离子而得到另外一些阳离子，水的化学成分发生变化，其浓度仍保持不变。但是，在地下水处于不断运动的状态下，在运动过程中，对介质的溶蚀等作用，通常会使得其矿化程度升高而使得离子交换作用强度也会随之增加。

不同成因的沉积岩里的阳离子交换是不同的。在海相岩层中常富含 K^+、Na^+，而在陆相岩层中富含 Ca^{2+}。重碳酸钙镁水在与海相泥质岩类接触时，常形成重碳酸钠型水：



$$\underset{\text{水中}}{Ca(HCO_3)_2} + \underset{\text{被岩石吸附}}{2Na^+} \rightleftharpoons \underset{\text{水中}}{2NaHCO_3} + \underset{\text{被岩石吸附}}{Ca^{2+}}$$

$$\underset{\text{水中}}{Mg(HCO_3)_2} + \underset{\text{被岩石吸附}}{2Na^+} \rightleftharpoons \underset{\text{水中}}{2NaHCO_3} + \underset{\text{被岩石吸附}}{Mg^{2+}}$$

由于 Ca^{2+} 的交换能量较 Mg^{2+} 要大，因而重碳酸钙镁水通过离子交换作用也可能形成重碳酸钠镁型水。在我国北方石炭二叠纪煤田下部石炭纪煤系以及南方的二叠纪煤系。为海陆交互相沉积，煤系及其基底岩层中含有某些海相泥质岩类，它们与地下水间的离子交换作用比较明显。虽然，在含水层的浅部，水交替比较强烈，离子交换作用对水质不能产生显著的影响，但是，在矿区深部水交替强度变弱后，离子交换作用对地下水质的改造作用则增强起来。这就是在许多煤矿区中，地下水水质类型，从浅部的重碳酸钙镁型，向深部逐渐变成为重碳酸钠型或重碳钠镁型的重要原因。

（四）地下水的浓缩作用

引起地下水浓缩的作用包括蒸发和蒸腾、重力作用、冻结作用等。

蒸发浓缩作用是指地下水在蒸发和蒸腾作用下水分不断消耗，其中一些化学组分相对或绝对地聚集，使盐分不断增高的作用。在浓缩过程中，溶解度较小的盐类往往发生沉

淀，使水中各种化学成分的比例产生变化，重碳酸盐型低矿化水中可变为硫酸盐、氯化物型高矿化水。浓缩作用对潜水，特别是分布于干旱半干旱地区、埋藏较浅、径流不畅的地下水的化学成分形成常起重要作用。除了潜水层外，在承压含水层的排泄区也易产生浓缩作用，特别是在面状排泄区内。例如，宁夏碎石井矿区位于干旱地带，研究区为冲洪积平原，地下水蒸发强烈，水中氟含量较高，水中氟的形成与地下水的浓缩作用关系比较密切，表 4-2 是地下水的矿化度与含氟量的关系表，表明水的矿化度与氟含量关系密切。

表 4-2　碎石井矿区地下水中矿化度与含氟量的关系表

地　层	含水层分区	含氟量（mg/L）	矿化度（g/L）
第三系	南部区	0.5～0.9	0.628
	北部区	1.4～2.4	1.222
第四系更新统	东部区	0.6～1	0.594～1.065
	西部区	1.7	2.298

重力浓缩作用主要对径流很缓慢的大型层间水及深层地下水起作用，受到浓缩的主要是有聚积能力的易溶物质的离子。在溶液中，水分子及溶质离子均在暂时平衡位置附近作热振荡运动，但是在振荡一个时段后，它们又会跳跃式地转移到另一个暂时平衡位置。离子要产生跳跃，就必须克服相邻质点和水分子的吸引力。重力作用可以使水中离子的跳跃运移（播散）具有向下的单向性，在大距离上，这种定向作用导致离子按照密度差异沿垂直方向上的分异，使得地下水体中在垂直方向上从下而上，由 $Cl^- \rightarrow SO_4^{2-} \rightarrow HCO_3^-$，而矿化度由大变小。

重力对地下水的浓缩现象在自然界是存在的，但其地位尚需进一步探讨，在煤田地下水中，主要发育着的是蒸发浓缩作用，而且主要是对矿区浅部地下水的化学特征的形成起作用。

以上只是讨论了煤田地下水的形成作用中的几种主要的常见作用。煤田地下水化学成分的形成通常是多种作用综合的结果，只是在其形成过程的某些阶段或地段上，某一两种作用可能居于主导地位。一种作用对水化学特征的影响程度取决于作用的时间、条件、范围以及作用的强度等，受地下水流场特征所控制。

二、煤矿床地下水化学成分的形成条件

煤矿床地下水化学场的特征，取决于形成水化学成分的各种作用的过程及其结果，而这些作用及其结果是受各种水文地质条件所控制，使得矿区的水化学场与矿区地下水的流场互相协调，与地下水的补给、径流和排泄条件密切相关，表现出许多一致的地方。

(一)地下水的补给条件

在自然界中，含水层一般都具有一定的获得补给的能力，补给的来源通常有大气降水、地表水和其它含水层中的地下水以及老窑水等。补给水源不同，其化学成分也不同，这是决定该含水层水化学场的初始状态的因素。在含水层的补给区，地下水的水化学特征和这个初始状态接近或者吻合；从补给区至径流区这种水化学特征逐渐地被改造。在排泄区，则是

补给水源经过含水层中各种地下水化学作用改造后的结果。所以，一个含水层的补给条件，补给区的位置和补给水源水化学特征是决定该含水层化学场的一个极其重要的因素。

地下水在含水层中的运动，是因为含水层有补给和排泄作用所形成，在补给和排泄这一对矛盾之中，补给处于主导地位。如果没有补给作用，则排泄作用终将停止，地下水的径流运动已就结束。从长期的补给、排泄过程中，排泄总是和补给相互平衡的，补给量大，其排泄量也会相应地增大，含水层的径流强度也大，地下水的交替循环也强，从而使其水化学场具有明显的特征。例如，开滦范各庄井田，各含水层中，均不含 NO_3^- 或仅痕迹量，但是在奥灰水中 NO_3^- 含量却达 7～12mg/L。因 NO_3^- 在氧化环境中呈稳定状态，而奥灰水补给好，有较多的溶解氧来源，其 NO_3^- 含量也高。奥灰水的这一特征常作为突水水源判别的有效指标，1990 年 6 月 25 日在 208 皮带巷平 7 探水孔出现涌水，水量最大达 $1600m^3/h$，稳定水量约 $1140m^3/h$，水中 NO_3^- 含量达 11.8mg/L，1990～1994 年监测，NO_3^- 一直在 9～10.5mg/L，综合分析，认为突水水源主要是奥灰水，进而发现了 10 号陷落柱，从而采取了针对性的措施。

（二）地下水的径流条件

地下水的径流条件通常取决于地下水的补给、排泄条件。补给、排泄条件好的，其径流条件一般也较好。

径流条件好，则地下水的循环交替强烈。在地下水的强径流地带溶蚀作用进行得比较充分，因含水层中可能存在的一些易溶盐类被带走，而只剩下难溶的组分和不溶组分，地下水所溶蚀的对象通常只是碳酸盐矿物，偶尔有少量的石膏等硫酸盐矿物，地下水通常为低矿化度的重碳酸钙镁型水。在地下水的强径流地带，地下水的矿化程度虽然较低，但是交替迅速，水中侵蚀性 CO_2 含量也较高，水具有较强的溶蚀能力，在碳酸盐类中，通常是岩溶比较强烈地发育的地段。含水层各地段上的径流强度差异，常常标志着水动力、水动态、水化学上存在差异（表 4－3）。

表 4－3　径流条件造成的水动力、水动态、水化学的差异状况

水文地质特征 \ 径流分区			强径流区（或带）	中等径流区（或带）	较弱径流区（或带）	弱径流区（或带）
水动力	自然流场水力坡度（‰）		0.05～0.2	0.4～0.5	0.65～0.8	大于 0.8
	抽水瞬时影响速度率（m/min）		14～1950	5～140		
水动态	年变幅（m）	1979 年	2.307（平均）	2.083（平均）		1.195
		1977 年	3.016（平均）	2.477（平均）	1.86	
	水位峰值滞后降雨天数		30～90	30～90	42～102	
水化学（无石膏区）	水化学类型		一般：HCO_3-Ca、HCO_3-Ca、Mg	一般：HCO_3、SO_4-Ca、HCO_3、SO_4-Ca、Mg	SO_4、HCO_3-Ca、SO_4、HCO_3-Ca、Mg 为主	以 Cl、SO_4-Na、Ca 为主
	矿化度（g/L）		一般：小于 0.3～0.4	一般：0.3～0.6	0.6	大于 0.6
导水系数（m^2/d）			83600～58320	43600	19440～9720	小于 1940～972

煤矿区的含水层，按照其含水层空间的形成、分布特征，习惯上划分为孔隙、裂隙和岩溶含水层三大类。这些含水层在水平方向上及垂直方向上通常都表现出明显的非均一性，在同一含水层中的不同地段其径流强度也有明显的区别。在孔隙、裂隙、岩溶三大类含水层中，孔隙类含水层的透水性相对比较均一，其水化学场也较均一；岩溶类含水层的透水性极不均一，其水化学场也较不均一。

含水层的透水性通常随着深度的增加而减弱，其径流条件也相应地变差。在径流条件较差的地带，地下水的交替速度慢，各种水化学作用时间长，水中化学成分可以积累下来，矿化度也高，形成在同一含水层中的水化学成分从浅而深的垂直分带性（表 4－4）。

表 4－4　山东新汶张庄深部 O_2 灰岩水化学成分随深度的变化状况

埋深 (m)	矿化度 (g/L)	pH值	总硬度 (德国度)	含量（毫克当量/升）					
				$K^+ + Na^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
<300	0.22～0.5	7.3～7.8	9～20	0.31～1.03	2.7～5.4	0.92～1.97	0.22～1.09	0.18～1.65	2.3～4.61
300～600	0.5～1.8	7.3～7.8	20～36	0.63～1.3	5.4～8.8	1.44～4.5	1.09～2.6	1.09～21	4.97～1.8
>600	>1.8	7.7～7.8	>36	>1.3	>8.8	>4.5	>2.6	>21	1.8～1.9

地下水的径流长度和径流深度也是影响含水层化学场特征的又一重要因素。径流深度增加，其水温，水压也常随之增加，水中 SiO_2、B、Na、K、Li、Rb、Cs、As 等含量通常要较浅部地下水增多，矿化度也增高，加之深部地下水的径流条件常常变差，更进一步扩大了浅部和深部地下水在化学成分和矿化度上的差异，做深径流的地下水常具有较高的温度和矿化度，含有较多的在常温常压下难溶的组分。在径流长度较大的情况下，径流的时间长，各种水化学的作用时间也长，与补给水源的水质差异也大。

在矿区水文地质剖面上，各个含水层的补给，排泄条件不同，其径流条件也各不相同，水化学场特征也常有区别，这种区别的大小，除了取决于它们各自的特点以外，还取决于它们的水力联系程度和水力联系方式。除了在同一含水层中水质表现出由浅而深的垂直分带以外，在浅层和深层含水层间也常表现出水质的垂直分带现象，只是各含水层的径流条件不同，使这种垂直分带现象有时被复杂化，表现得不够明显。例如，山东兖州煤田为石炭二叠系煤田，东、南、西三面分别为峰山、凫山、孙氏店断层，断层外侧均为含水较微弱的岩层，其南北两端虽然有奥陶系灰岩出露，但分布面积较小，其补给、排泄条件较差，从上而下各含水层水质分布有如下特征（表 4－5)。在该矿区，第四系厚度 120.6～194.0m，所含地下水也具有垂直分带现象，在同一地段从上而下矿化度有明显的增高趋势。

矿区各含水层的富水性差别可能较大，但是含水层的富水性与其循环交替条件并不完全一致。有的含水层，其富水性较微弱，但其矿化度仍较低；有的含水层其富水性较强，单位涌水量较大，但是矿化度仍很高，其原因就是其循环交替条件与含水层的富水性不一

致。一些含水层含水虽然微弱，但只要有少量的补给量以及必要的与之相适应的径流、排泄条件，就可以维持其一定的循环交替能力，使其矿化度不致于过高（表 4－6)。另外一些含水层虽然富水性较好，含水空间发育、导水性强，但必须获得大量的补给，并有较好的径流，排泄条件才可以维持相当的循环交替强度，否则其矿化度仍然会较高，如果有相应能力的补给、径流、排泄条件，则水质很好，矿化度也低，此时单位涌水量越大，矿化度也愈低；如果补给条件缺乏，则不论含水层透水性如何，其矿化度均将是较高的。以永城矿区为例，其补给条件较差，尽管太原组灰岩单位涌水量可达 2.87L/s·m，但矿化度仍达 2～3g/L，属 SO_4—Na 型水；奥灰岩掩盖区，单位涌水量为 0.704L/s·m，矿化度为1～3g/L，属 SO_4—Na型水。

表4－5　兖州煤田各含水层水质分布特征表

含水层名称	钻孔单位涌水量 (L/s·m)	矿化度 (g/L)	水 质 类 型
第 四 系	1.415～3.194	0.429～0.213	HCO_3—Ca，HCO_3—Ca·Na
太原组三层灰岩	0.199	0.466	HCO_3—K + Na
五层灰岩	0.368～0.422	0.539	HCO_3·SO_4—K + Ca
十下层灰岩	0.173～0.28	0.96	SO_4·HCO_3—Ca·Mg·K + Na
奥陶系灰岩	0.0163～0.306	1.645～2.948	SO_4—Ca·Mg

表4－6　王家庄等矿井的富水性及水质状况表

矿井名称	含水岩层	单位涌水量 (L/s·m)	矿化度 (mg/L)	总硬度 (德国度)	水质类型
临淄王家庄	太原组	0.0004～0.052	829.19		HCO_3—Na·Ca
	山西组砾岩	0.095	473.07		HCO_3·SO_4—Na
新汶张庄深部	第三系砾岩	0.185	350.0	9.77	
	侏罗系砂岩	0.006～0.322	329.0	11.91	

（三)地下水的排泄条件

地下水的排泄区的水化学特征是各种水化学作用的综合结果。补给区的地下水经过径流区改造后，在排泄区通常已与补给区的水质具有明显的变化，这与径流的长度、深度及

强度有关，与地下水流经的岩层成分和其它特征有关。地下水水化学特征在排泄区得到进一步的改造与变化，这与排泄区的排泄方式和途径有明显的关系。

在地下水以大面积的蒸发或蒸腾为主要排泄方式时，将会使排泄区的地下水中各种化学组分相对地聚积下来，产生浓缩作用，使矿化度增高，同时也使地下水的化学类型产生变化。在干旱、半干旱地区常形成土壤的盐渍化。我国西部许多矿区常具有此类特征。

深循环的地下水，沿断裂带或其它导水通道向上排泄时，其物理状态，主要是温度和压力将产生明显的降低。在这个过程中将会有一些气体成分的逸散，其中 CO_2 气体逸出的结果，将导致水中所溶解的碳酸盐矿物产生沉淀而析出，形成泉华沉积。在我国一些煤矿区的附近，地下水沿着较深的断裂作深循环而排泄的地带，常可见到泉华堆积。祁连山区大通河流域的木里、江仑及热水煤矿区附近有多处这种泉华堆积，曾见有在大通河河床中出露的温泉泉华胶结河床先期沉积物所形成的泉华丘。在另外一些情况下，在深循环的地下水排泄区，由于氧化一还原条件的改变使得水中 H_2S 氧化而生成硫磺沉积，这也是温泉泉口处常见的一种现象。不仅在地下水深循环地区，而且在一般的承压含水层的排泄区，地下水通常也是从下而上运动的，同时也伴随着压力和温度的降低， CO_2 等气体的逸出现象也是常见的，只是由于其温度和压力的改变不很大，因而产生的结果也不是很显著的。

如果含水层以水平排泄方式为主（图 4－2），其物理化学状态不致产生大的变化，在这种排泄边界两侧水质也不致有大的差别。越流也是含水层的一种排泄方式，在越流排泄过程中可能伴随着离子交换吸附现象，其结果可能使水中 K、Na 离子含量增高，而 Ca、Mg 离子含量降低。

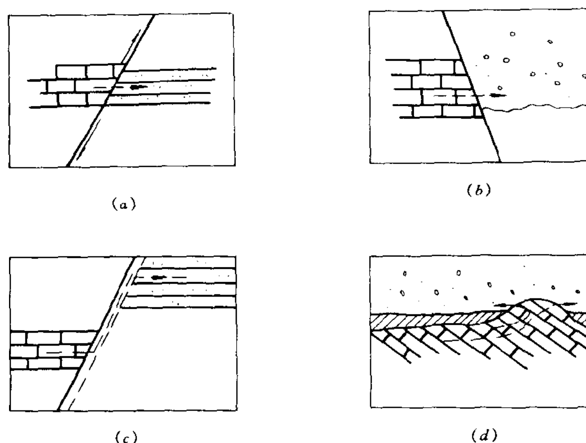


图4－2　地下水水平排泄的几种主要万式示意图

a－基岩含水层对口排泄；*b*－基岩含水层向松散含水层排泄；

c－通过导水断裂带向另一含水层排泄；*d*－“天窗”地带排泄

大流量抽水试验往往给含水层原始流场以较大的干扰，从而改变了流场的排泄、径流和补给状态，进而可能引起所在地段水质的某些变化。例如，济宁一区大口径钻孔抽水，其流量为 178～236t/h，当抽水 15 天和 22 天后，两次分别在主孔许 1、许 2 采样化验，水

中的某些成分含量发生了明显的改变（表 4－7）。当抽水 14 天后，从 X－9等 3 个观测孔中取样化验，其总硬度、总固形物含量较抽水前也有明显的降低（表 4－8），说明抽水导致了含水层浅部有矿化度较低的水进入，加快了地下水的交替。

表 4－7　抽水后地下水中某些组分含量的变化状况表

钻孔编号	取样日期（年、月、日）	某些组分含量（mg/L）			
		锌	氟	锰	铁
许 1 孔	1986.4.17	0.05	1.43	0.08	0.11
	1986.4.24	未检出	1.21	未检出	0.01
许 2 孔	1986.4.17	0.02	1.31	0.07	0.14
	1986.4.24	未检出	1.21	未检出	0.07

表4－8　抽水前后观测孔中总硬度总固形物含量变化表

钻孔编号	总硬度（德国度）		总固形物（mg/L）	
	抽水前	抽水时	抽水前	抽水时
X－9	27.45	16.48	706	477.23
X5－3	48.18	8.13	1289	442
X15－3	75.76	42.06	2845	2208

第三节　煤田地下水的水化学特征

煤田地下水的水化学特征是煤矿床的地质结构，岩性、岩相特征，各种地下水的形成作用和地下水的补给、径流、排泄条件等因素综合作用的结果。由于煤矿床是在特定的古气候条件下形成的沉积类型的矿床，它在矿床的规模、赋存深度、围岩的性质、矿床的开采方式等方面与金属矿床和其它矿床特别是非燃料矿床相比，常具有许多差异，因而煤矿床地下水具有自己的特点。

一、我国煤矿床地下水化学场的一般特征

根据我国煤田水文地质类型，以及我国煤矿水文地质基本特征，水文地质条件的分区

特点，综合本章前面的讨论，我国煤矿床水化学场有如下一些主要特征。

(1) 煤矿区通常为多个含水层组成的非均质的复杂含水结构体。含水体中各个含水层既相对独立，又在一定的条件下存在某种程度的水力联系。在此基础上，矿区的水化学场也是一个非均一的层状水化学场，其中各个含水层的水化学场之间既相互独立又相互联系。

(2) 各个含水层的水化学场的特征是由它的补给、径流和排泄条件所决定的，而各个含水层的化学场之间的差异状况，则是由它们自身的特点及它们之间的水力联系程度、方式和地点所决定的。

(3) 在同一含水层中，从补给区至径流区再至排泄区，其水化学场呈现出有规律的变化。在地下水来源主要为大气降水的情况下，溶蚀作用是地下水化学成分形成的最主要的因素，从补给区至排泄区，矿化度及水中某些离子的成分在一般情况下，将可能沿着径流途径的增长而含量增高。

(4) 在地下水径流区，因径流强度的差异而形成同一水化学场中的化学成分差异，在那些径流滞缓、水交替缓慢的地段，矿化度较高，而在强径流带其矿化度会明显偏低。

(5) 地下水的水化学特征存在着明显的垂直分带性。对于矿区水文地质单元中的某一个含水层而言，从补给区至径流区、从浅部到深部，地下水化学成分的各种形成作用时间增长，水温和压力常随之增高，而地下水的循环交替作用却常逐渐减弱，其水化学特征也将从浅而深出现明显的变化。这种水化学特征随深度的变化是煤矿区许多含水层所共有的现象，但其可以有各种表现形式。对潜水含水层而言，补给区、径流区及排泄区有时并不能划分得十分清楚，其间在水化学成分上的区别也可能不十分明显；对承压含水层而言，则表现得比较明显，其径流途径愈长，则其水化学差异也将愈大 以峰峰一邯郸矿区的岩溶水为例，岩溶水的水化学特征具明显的分区性和分带性，补给区以 HCO_3—Ca、HCO_3—Ca·Mg型水为主，矿化度一般0.3～0.4g/L；径流区和排泄区为 HCO_3—Ca·Mg、HCO_3·SO_4—Ca 型水，矿化度一般为 0.6～0.8g/L；滞流区水质较差。垂直方向上浅埋区水质较好，深埋区较差，矿化度升高，由 0.4～0.6g/L 可升达 6g/L，水化学类型由 HCO_3—Ca·Mg 或 HCO_3·SO_4—Ca·Mg 型过渡为 HCO_3·SO_4—Ca·Mg 型或 CL·SO_4—Ca·Mg 型水。

在矿区水文地质剖面上，除了煤层底板岩溶含水层之外，其余在裂隙、孔隙充水矿床中，深部含水层接受大气降水和地表水的补给能力通常要弱，水交替强度也常减弱，故对各个含水层而言，通常也存在着从浅而深的水化学垂直分带现象。但是，水交替强度往往不止是单纯地取决于含水层的埋藏条件，在同一地点上，各个含水层的渗透性不同，在渗透性能较好的含水层中其水交替强度较大，矿化度和某些离子的含量也可能较上、下含水层低，形成不相协调的现象。

(6) 我国幅员辽阔，煤矿床广泛分布，矿床水文地质条件和水化学特征具有比较明显的区域性特征。

裂隙充水矿床分布广泛。其中包括，东北、西北和云南、贵州，川南和湘南地区，也包括，华北地区石炭二叠纪煤田中的二叠煤系。裂隙充水矿床以构造裂隙和风化裂隙水为矿井的主要充水水源。在风化裂隙带以下，含水层的富水性迅速减弱，矿井水量亦迅速变小。风化裂隙带以上水交替比较强烈，风化裂隙带以下则交替比较弱 、风化带以上和以下

水质差异明显，深部地下水矿化度较高且常含有一些气体成分。在这些地区中，西北区多属干旱地区，补给缺乏，浅部地下水蒸发强烈，浓缩作用发育，常形成高矿化度水，而深层地下水中矿化度却可能较低。南方地区气候温暖，补给充沛，矿区浅部地下水中矿化度明显较低。

岩溶充水矿床在我国分布也相当广泛，华北、华东、华南及西北部分地区都占有相当的地位。华北、华东及西北石炭二叠纪煤系分布区常以底板岩溶水为主要充水水源，水文地质单元规模很大，地下水主要接受大气降水补给，其补给区愈大，矿井涌水量也愈大，而水的矿化度则愈低，特别是太行山东麓的峰峰、焦作、鹤壁等矿区水量大、矿化度低、水质优良。华南地区地层倾角一般较大，构造较复杂，水文地质单元的分布范围较小，但降雨量大，补给比较充沛，地下水的矿化度一般较低，由于浅部和深部的岩溶发育强度差异悬殊，因而造成水化学、水温场上常也有明显的区别。

在济宁、开滦、蓟玉、兖州、两淮等许多煤田，常有巨厚的新生界覆盖，隔绝了大气降水和地表水与矿床地下水的直接联系。当新生界中隔水层不稳定，底部有含水层时，矿床地下水的交替会得到改善；当煤系底部有强富水的岩溶含水层时，其上含水层中地下水的交替条件也可能得到改善。否则地下水的交替循环比较微弱，水矿化度较高，水中易含有较多的气体成分。

在老矿区或浅部矿井地区，常有许多老窑分布，老窑水常是影响矿区水化学场的重要因素，特别是在我国南方广西、四川、云南、贵州及湖南等一些裂隙充水矿区，煤系为海陆交互相沉积，煤及围岩中的黄铁矿含量高，气候温暖，易于形成强酸性地下水，在裂隙充水矿井中常构成主要的充水水源，形成酸性矿井水。

二、矿井水在化学组分上的一些特征

矿井水的水质特征是进入矿井的各种水源的水质的综合表现，并且经过矿井中各种人为作用改造的结果。矿井水的水质与矿井的充水强度、充水水源的构成、充水水源的水质状况、井下地下水的管理和疏排方式等众多因素有关，水质变化较大。由于我国煤矿开采规模大，排水量大，许多矿区处于缺水地区，因而矿床地下水的综合利用和地下水水质保护的重要性日益突出，矿井水作为提炼某些工业原料的可能性、矿井水的各种综合利用的前景都是今后应该加强工作的重要内容。煤矿矿井水与金属矿井及浅层地下水和地表水（即表生作用带水）相比较有许多差别，这些是根据前苏联 В·З·Рубйкнн 与 Л·Н·Рохлнн 的统计资料得出的（表 4－9）。我国北方一些主要矿区水化学特征及水化学含量特征值见表 4－10 和表 4－11。矿井水水质污染现状见表 4－12，污染物统计见表 4－13。

从以上表中可以看出：

（1）在煤矿区矿井水中，有一半以上的微量组分的含量，超过表生作用带水中的这些微量组分的含量 3～7 个数量级。这是由于矿床开采后自然条件剧烈变化及各种人为因素影响所形成的。

（2）煤矿区矿井水中，除 Ga、Zr、Mo、Y 及某些其它络合剂元素以外，其余水中元素含量比深层地下水少。

（3）与金属矿区水比较，煤矿区水中 Ba、Ga、Y、Zr、V、Sr 含量高；阴、阳离子，如 B、Br、Cr、I、Li 含量，两种水中大致相同。

表 4-9 水中化学元素最大含量(mg/L)

元素	海水	表生作用带水(平均值)	矿井水				深层地下水				前苏联卫生生活水池水临界允许浓度
			金属矿		煤矿		矿水		现代火山区温泉	含盐建造	
			酸性	碱性	酸性	碱性	碳酸水	含氮热水			
Ag	4×10^{-5}	2.9×10^{-4}	126	0.060	0.058	0.0050	0.0007	—	0.5	1	—
Al	0.01	0.279	13106	1000	266	—	74.2	3.3	5048	3000	—
As	0.003	0.002	1500	0.20	0.01	0.04	150.0	0.002	30.0	1.44	0.05
Au	4×10^{-6}	2.7×10^{-5}	0.0055	0.0012	—	—	2×10^{-4}	7×10^{-5}	0.002	4.9×10^{-4}	—
B	46	0.042	1.4	5.0	1.25	5.0	1200	16	110	23000	—
Ba	0.03	0.019	0.2	—	0.35	9.11	62.4	—	0.13	370	4.0
Be	6×10^{-7}	2.7×10^{-4}	0.52	0.3	0.26	0.001	0.429	0.002	—	—	0.0002
Bi	2×10^{-6}	—	0.72	0.0096	0.007	0.036	—	—	—	—	0.1
Br	65	0.183	125	44.2	3.5	151.1	66	105	7.8	17470	—
Cd	1.1×10^{-4}	3.3×10^{-4}	41	0.3	0.033	0.045	—	—	0.14	2.5	0.01
Ce	5.2×10^{-6}	—	—	0.42	—	—	—	—	—	—	—
Co	5×10^{-4}	8.3×10^{-4}	3600	0.024	6.61	0.038	0.002	—	0.070	—	1.0
Cr	5×10^{-5}	0.003	0.6	—	0.230	0.269	—	—	—	0.7	0.05
Cs	5×10^{-4}	2.8×10^{-4}	0.0120	—	0.01	0.01	3.3	0.171	1.8	25.0	—
Cu	0.003	0.006	45633	1.1	0.79	0.177	0.650	0.025	51.0	32.0	1.0
F	1.3	0.450	8.0	15000	2.8	5.0	8.1	26	50.4	25	1.5
Fe	0.01	0.547	47030	—	846	—	165	0.8	1778	3780	0.1
Ga	3×10^{-5}	6.8×10^{-4}	0.040	—	0.053	0.174	—	—	—	—	—
Ge	7×10^{-5}	—	0.100	0.005	0.0012	0.015	0.2	0.02	0.027	—	—
Hg	3×10^{-5}	9.1×10^{-4}	0.070	0.08	—	—	—	0.169	0.05	—	0.005
In	0.02	—	—	—	1.47	0.023	—	—	—	—	—
I	0.06	0.016	2.0	4.3	1.1	4.2	13.4	22	2.4	1400	—
La	1.2×10^{-5}	—	—	0.213	0.368	—	—	—	—	—	—

续表

元素	海水	表生作用带水（平均值）	矿井水				深层地下水				前苏联卫生生活水池水临界允许浓度
			金属矿		煤矿		矿水		现代火山区温泉	含盐建造	
			酸性	碱性	酸性	碱性	碳酸水	含氮热水			
Li	0.17	0.014	0.21	18.6	0.25	4.0	100.8	18.8	12.2	692	—
Mn	0.002	0.049	1690	1.4	7.14	1.34	44.3	0.3	30.0	2000	0.05
Mo	0.01	0.002	0.7	0.07	0.032	0.661	0.061	0.5	0.08	0.03	0.5
Nb	1×10^{-5}	—	—	0.4	—	—	—	—	—	0.04	—
Ni	0.002	0.003	3000	0.24	9.55	0.165	0.005	0.04	0.1	2.3	0.1
Pb	3×10^{-5}	0.002	1377	0.2	0.022	0.041	1.8	0.036	32	125	0.1
Rb	0.12	0.002	0.14	6.6	0.02	0.16	10	0.3	2.1	960	—
Re	—	—	—	0.029	—	0.007	—	—	—	—	—
Sb	5×10^{-4}	0.001	2.4	0.025	—	—	—	—	0.7	—	0.05
Sc	4×10^{-5}	—	—	—	0.248	0.054	—	—	—	—	—
Se	0.004	9.1×10^{-4}	0.3	0.05	—	—	0.008	0.006	—	0.005	0.001
Si	3.0	8.0	90	13000	—	—	78	58	376	1663	—
Sn	8×10^{-4}	4.1×10^{-4}	0.3	—	0.011	0.023	—	—	0.036	—	—
Sr	8.0	0.185	1.9	—	25.4	212	80	5.5	10.3	11162	2.0
Ta	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.038	—
Ti	0.001	0.011	23	2.0	0.91	4.67	2.6	—	—	—	0.1
Tl	1×10^{-5}	—	—	—	0.002	0.010	—	—	—	—	—
V	0.002	0.001	0.09	—	1.73	0.451	6.0	—	0.64	—	0.1
W	1×10^{-4}	—	0.07	0.3	—	0.001	0.017	0.6	0.072	—	0.1
Y	3×10^{-4}	—	—	0.027	0.41	0.76	—	—	—	—	—
Yb	2×10^{-6}	—	—	—	0.053	0.059	—	—	—	—	—
Zn	0.01	0.034	50300	1.5	—	—	0.93	0.52	150	630	1.0
Zr	—	0.001	0.5	—	0.063	3.58	0.15	—	—	—	—

本表据 В.З.Рубейкин 与 Л.И.Рохлин

表 4-10 矿井水水化学特征说明表

岩溶区	矿种	矿区名称	矿井排水量 ($10^4m^3/a$)	特征说明	主要化学类型
山西高原	煤矿	平朔、轩岗、西山、汾西、霍县、阳泉、潞安、晋城	总量：4963.77 其中岩溶水 2026.71（不包括平朔、汾西、潞安）	①轩岗矿区、西山和晋城部分岩溶充水矿区，以溶解性总固体低于 500mg/L、SO_4^{2-} 含量低于 150mg/L 为特征 ②潞安、平朔矿区、西山和晋城的大部分矿井，以及汾西、霍县矿区的岩溶充水矿井，多以溶解性总固体 500~1000mg/L、SO_4^{2-} 含量为 100~300mg/L 为特征 ③阳泉矿区、霍县和汾西矿区的顶板充水矿井，以溶解性总固体 800~3000mg/L，SO_4^{2-} 含量 300~2000mg/L 为特征，部分老窑水溶解性总固体在 3000mg/L 以上，且 SO_4^{2-} 含量多大于 1000mg/L	H·S—C·M S·H—C·M S·H—N (C) S—N 以及 H·I—NO·C H·S—N H—NO·C
太行山东南侧	煤矿	蔚县、井陉、邢台、峰峰、鹤壁、焦作	总量：51839.40 其中岩溶水为 4177.16（不包括蔚县）	溶解性总固体、总硬度和 Na^+、SO_4^{2-}、Cl^- 等主要离子含量比山西高原岩溶区小 ①井陉、邢台、峰峰、焦西等矿，岩溶水的硫酸盐和煤系地层中硫化物含量较高、矿井水的溶解性总固体一般为 500~1000mg/L，SO_4^{2-} 含量一般为 150~500mg/L ②蔚县、鹤壁和焦东矿区，溶解性总固体和 SO_4^{2-} 含量较低，一般分别小于 500mg/L 和 100mg/L ③部分以顶板充水为主的矿井，溶解性总固体一般为 500~1000mg/L，SO_4^{2-} 含量为 200mg/L 左右	H—C (C·M) H·S—C·M S·H—C·MS· H—C·N S—C·MH—N· C·M S·H—N
燕山—辽西	煤矿	京西、开滦	总量：17796.29 其中岩溶水 2868.72	据开滦矿区资料，溶解性总固体和各主要离子含量高于岩溶水，溶解性总固体一般 300~500mg/L，SO_4^{2-} 含量一般小于 100mg/L，平均 84.41mg/L，溶解组分以碳酸盐为主，约占溶解离子总量的 75%	H—C·M H·S—C·M
辽东南	煤矿	本溪彩屯		突水点的水化学特征与矿区岩溶水基本一致，溶解性总固体低于 500mg/L，SO_4^{2-} 含量较低，汇集于巷道、水仓的矿井水，SO_4^{2-} 含量高达 1515~1644mg/L，溶解性总固体达 2189~2422mg/L	H·S—C·M S—C·M H—N
渭北	煤矿	韩城、蒲白、澄合	总量：1881.70 其中岩溶水 1427.00	K^+、Na^+、Ca^{2+}、SO_4^{2-}、Cl^- 含量均较高，溶解性总固体为 656~1032mg/L。SO_4^{2-} 含量为 188.76~454.89mg/L。在以岩溶水为主的矿井，矿井水水化学特征与岩溶水相近；以裂隙水充量罗大的矿井水，硫酸盐和氯化物铂量较低	H·S—N·C·M S—C·M S—C·N
豫西	煤矿	平顶山、新密、禹县、荥巩、偃龙、新安、义马	总量：1370.87 其中岩溶水 9366.72（不包括临汝、偃龙、新安）	北部山前平原矿区和开采较深的平顶山矿区，矿井水中溶解性总固体和 SO_4^{2-} 含量较高，一般分别为 400~600mg/L 和 50~200mg/L，分布于山间盆地的矿区，矿井水溶解性总固体一般为 300~500mg/L，SO_4^{2-}、K^+、Na^+ 含量显著高于岩溶水，如 SO_4^{2-} 含量高于 1.55 倍	H—C (C·M) H·S—C·M S·H—C·N·M H·S—N 等
鲁中南	煤矿	淄博、肥城、新汶、枣庄	总量：27534.09 其中岩溶水 10096.25	一般由突水点直接外排水的溶解性总固体低于 100mg/L，SO_4^{2-} 含量低于 300mg/L。由矿井排出水的溶解性总固体和 SO_4^{2-} 含量较高，如新汶矿区，溶解性总固体在 100mg/L 以上，SO_4^{2-} 含量大于 500mg/L	H·S—C·M S·H—C·M S—C·M 局部有 S—N 型水

表 4-11　矿井水水化学含量特征值统计表

矿区名称	充水层位	特征值 \ 项目	水温（℃）	pH 值	总硬度（德度）	溶解性总固体（mg/L）	主要离子含量（mg/L） K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO^{3-}	可溶性 SiO_2（mg/L）	游离 CO_2（mg/L）	侵蚀 CO_2（mg/L）	统计点数（个）	水化学类型
轩岗、西山、霍县、阳泉、汾西、潞安、晋城	O	区间值	8.00~21.5	6.90~8.33	7.32~67.74	313.25~4501.3	0.00~8.26	2.07~1078.2	20.64~246.89	15.81~143.86	209.34~866.44	71.90~2891.41	7.80~168.40	0.00~23.16	4.00~23.00	2.30~150.9	0.00~17.1	21	H·S—C·M S·H—N·C
		平均值	14.7	7.73	20.20	1127.44	3.11	271.67	95.03	41.84	384.03	593.27	46.94	6.52	9.60	29.12	2.75		
蔚县、井陉、邢台、峰峰、鹤壁、焦作	O、C—P	区间值	16.0~18.0	7.30~8.06	6.14~47.70	241.50~1861.3	1.40~4.69	0.00~325.51	23.93~222.95	9.60~71.44	228.60~635.22	20.20~872.29	5.30~123.40	0.09~10.00	8.16~22.40	2.70~39.10	0.00~4.40	20	S·H—C·M H·S—N·C H·S—C(M)
		平均值	17.9	7.59	19.05	562.50	2.23	48.98	89.34	28.13	309.19	198.60	28.45	2.90	13.34	9.0	0.46		
井陉（赵各庄矿）	O	区间值	/	/	19.71~21.70	384.21~468.37	5.00~22.00		90.38~105.00	30.40~30.64	270.93~316.68	78.77~84.05	34.67~50.16	4.00~24.00	/	/	/	2	H—C·M
		平均值	/	/	20.71	426.29	13.5		97.69	30.52	293.51	81.41	42.42	14.00	/	/	/		
本溪彩屯煤矿	O 断层混合	区间值	11.0~23.0	6.20~8.20	1.50~86.20	295.94~2422.0	7.68~197.70		6.33~361.35	2.66~159.67	28.50~479.18	0.00~1644.36	10.78~49.32	0.81~8.85	/	0.00~36.50	0.00~9.68	6	H·S—C·M S—C·M H—N
		平均值	19.0	7.47	44.61	1350.7	120.95		189.36	78.36	219.67	797.69	25.15	3.02	/	11.95	4.84		
韩城（桑树坪象山矿）、蒲白、澄合	O_2	区间值	21.0~26.0	7.10~7.60	20.06~36.02	656.59~1032.4	92.69~136.74		79.76~168.69	36.74~53.27	234.56~319.56	191.06~454.89	65.76~118.86	0.01~14.00	11.00~17.00	3.31~18.78	/	5	S—C·M S—C·N H·S—N·C·M
		平均值	23.9	7.34	25.09	808.82	106.72		108.43	42.84	300.25	292.68	84.29	7.20	14.40	11.71	/		
荥巩、新密、禹县、义马、新安、平顶山	C、O_2、C_{2+3}	区间值	10.00~37.0	7.20~7.85	12.34~28.49	294.00~742.30	0.30~12.6	12.80~122.40	46.70~146.30	13.90~44.00	230.70~352.10	10.10~288.20	11.30~60.30	2.40~18.00	2.00~12.00	2.75~18.34	~	22	H—C·M
		平均值	17.7	7.48	18.08	420.90	2.05	28.11	90.91	23.35	307.00	81.37	21.99	9.41	9.89	7.96	0.00		

表4-12 矿井水水质污染现状统计表

矿区名称	充水层位	参数 / 评价标准 / 特征值	pH值	总硬度	溶解性总固体	硫酸盐 SO_4^{2-}	氯化物 Cl^-	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu
		评价标准	6.5~8.5	25.23	1000	250	250	0.3	0.1	1.0
轩岗，西山，汾西，霍县，町泉，潞安，晋城	O	区间值	6.90~8.33	7.32~67.774	313.25~4501.34	71.90~2891.41	7.80~168.40	0.000~64.70	0.025~4.485	0.000~0.058
		平均值	7.73	22.96	1276.72	593.19	46.94	5.98	0.53	0.011
		超标率%	0	30.0	20.0	45.0	0	35.0	25.0	0
蔚县、井陉，邢台，峰峰，鹤壁，焦作	O C-P	区间值	7.30~8.06	6.14~47.70	241.50~1861.30	20.20~872.29	5.30~123.40	0.02~1.20	0.005~0.24	0.000~1.013
		平均值	7.59	19.05	526.89	198.56	28.45	0.337	0.095	0.130
		超标率%	0	25.0	10.0	20.0	0	30.0	25.0	5.0
开滦（赵各庄矿）	O	区间值		19.71~21.70	384.21~468.37	78.77~84.05	34.05~50.16			
		平均值		20.71	426.29	81.41	42.20			
		超标率%		0	0	0	0			
本溪彩屯煤矿	O断层混合	区间值	6.20~8.20	1.50~86.20	295.99~2422.00	0.00~1644.40	10.78~49.32	0.000~0.080		
		平均值	7.47	44.61	1350.70	797.70	25.15	0.027		
		超标率%	16.7	50.0	50.0	50.0	0	0		
韩城（桑树坪象山矿）蒲白，澄合	O_2	区间值	7.10~7.60	20.06~36.02	656.59~1032.38	191.06~454.89	65.76~118.86	0.000~<0.02	0.000~<0.01	0.000~<0.01
		平均值	7.34	25.09	808.82	292.68	84.68	<0.02	<0.01	<0.01
		超标率%	0	40.0	20.0	40.0	0	0	0	0
荥巩，新密，禹县，义马，新安，平顶山	$\in$、O_2 C_{2+3}	区间值	7.20~7.85	12.34~28.49	294.00~742.30	10.10~288.40	11.30~60.30	0.002~0.270	0.005~0.060	0.000~0.018
		平均值	7.20	18.08	420.90	81.37	21.99	0.049	0.013	0.002
		超标率%	0	4.55	0	4.55	0	0	0	0
济南铁矿，金岭，铁山，黑旺，莱芜	O	区间值	6.50~9.50	14.05~50.54	256.75~2236.61	29.54~1371.25	10.53~145.66	0.000~<0.04	0.005~1.32	0.005~0.058
		平均值	7.69	24.05	922.97	445.38	66.90	<0.02	0.159	0.014
		超标率%	20.0	33.33	40.0	46.67	0	0	6.67	0

续表

矿区名称	充水层位	参数 / 评价标准 / 特征值	锌 Zn	挥发酚类	氰化物 CN^-	氟化物 F^-	硒 Se^{2+}	汞 Hg	镉 Cd	铬 Cr^{3+}
			1.0	0.002	0.05	1.0	0.01	0.001	0.01	0.05
轩岗，西山，汾西，霍县，盯泉，潞安，晋城	O	区间值	0.001~0.270	0.0000~0.0180	0.0006~0.0240	0.17~7.70	0.0000~0.0004	0.0000~0.0020	0.0000~0.0140	0.0020~<0.050
		平均值	0.068	0.0028	0.0040	1.11	0.0001	0.0002	0.0029	0.0112
		超标率%	0	20.0	0	10.0	0	10.0	5.0	0
蔚县、井陉，邢台，峰峰，鹤壁，焦作	O C-P	区间值	0.005~0.679	0.0000~0.0270	0.000~0.005	0.10~1.29	0.0002~0.0006	0.0000~0.0035	0.0000~<0.010	0.0000~0.050
		平均值	0.112	0.0071	0.002	0.52	0.0003	0.0005	<0.010	0.009
		超标率%	0	35.0	0	15.0	0	5.0	0	0
开滦（赵各庄矿）	O	区间值								
		平均值								
		超标率%								
本溪彩屯煤矿	O断层混合	区间值								
		平均值								
		超标率%								
韩城（桑树坪象山矿）蒲白，澄合	O_2	区间值	~0.020	0.0012~0.0020	0.0005~0.0020	1.11~1.22	0.0005~0.010	0.0000~<0.001		0.0010~0.0031
		平均值	<0.020	0.0016	0.0010	1.15	0.0037	<0.001		0.0025
		超标率%	0	20.0	0	60.0	0	0		0
荥巩，新密，禹县，义马，新安，平顶山	Є、O_2 C_{2+3}	区间值	0.002~46.15	0.0001~0.0050	0.0002~0.0080	0.04~1.20	0.0001~0.0002	0.0001~0.0031	<0.0001~0.0023	<0.002~0.0200
		平均值	2.113	0.0015	0.0012	0.38	0.0001	0.0007	<0.0001	<0.002
		超标率%	4.55	27.27	0	4.55	0	27.27	0	0
济南铁矿，金岭，铁山，黑旺，莱芜	O	区间值	0.005~0.025	0.0000~<0.002	0.00~<0.002	0.15~1.75	0.0000~<0.0002	0.000~<0.0001	0.0000~0.0002	0.0000~<0.0001
		平均值	0.013	<0.002	<0.002	0.90	<0.0002	<0.0001	<0.0002	<0.0001
		超标率%	0	0	0	26.7	0	0	0	0

续表

矿区名称	充水层位	参数 / 评价标准 / 特征值	铅 Pb	银 Ag	砷 As	NO_3-N	NO_2-N	NH_4-N	COD	统计点数(个)
		评价标准	0.05	0.05	0.05	2.0	0.02	0.5	3	
轩岗，西山，汾西，霍县，盯泉，潞安，晋城	O	区间值	0.0000~0.0800	0.0040~0.0100	0.0000~0.0160	0.000~5.234	0.000~0.395	0.000~14.004	0.19~9160	21
		平均值	0.024	0.0082	0.0021	1.47	0.05	1.33	858.2	
		超标率%	10.0	0	0	0	35.0	25.0	40.0	
蔚县、井陉，邢台，峰峰，鹤壁，焦作	O C-P	区间值	0.0000~0.9000	~<0.050	0.0000~0.0020	0.020~3.616	0.001~0.049	0.000~0.366	0.71~5.44	20
		平均值	0.0064	<0.050	<0.005	0.950	0.009	0.051	2.02	
		超标率%	5.0	0	0	0	5.0	0	10.0	
开滦(赵各庄矿)	O	区间值				0.904~5.424				2
		平均值				3.164		0.008		
		超标率%				0		0		
本溪彩屯煤矿	O断层混合	区间值				0.040~2.000	0.000~0.179	0.023~1.167	0.57~1.97	6
		平均值				0.680	0.036	0.655	1.03	
		超标率%				0	16.67	50.0	0	
韩城(桑树坪象山矿)蒲白，澄合	O_2	区间值	0.0010~<0.0031	0.0000~<0.005	0.0050~0.0260	0.002~3.164	0.002~0.003	0.000~<0.002	0.12~0.43	5
		平均值	<0.010	<0.005	0.0120	1.628	0.002	<0.002	0.23	
		超标率%	0	0	0	0	0	0	0	
荥巩，新密，禹县，义马，新安，平顶山	∈、O_2 C_{2+3}	区间值	<0.0001~0.0137	<0.0001~0.0067	0.0005~0.0300	0.540~4.070	0.001~0.085	0.004~0.047	0.08~53.74	22
		平均值	<0.005	<0.050	0.0054	2.130	0.007	0.015	3.30	
		超标率%	0	0	0	0	13.66	0	9.09	
济南铁矿，金岭，铁山，黑旺，莱芜	O	区间值	0.0000~<0.005	0.0000~<0.0001	0.0000~<0.005	0.079~6.780	0.001~0.274	0.002~0.047	0.41~1.38	15
		平均值	<0.005	<0.0001	<0.005	3.175	0.058	0.008	0.90	
		超标率%	0	0	0	0	13.33	0	0	

注：除pH值为无量纲和总硬度的单位为德国度外，其余的单位均mg/L。

表 4－13　矿井水污染物统计表

序号	污染物名称	统计点数（个）	超标点数（个）	超标率（%）	超标含量（mg/L）	超过生活饮水水质标准的倍数（倍）	污染物位　次
1	硫 酸 盐	91	26	28.57	279.05－2891.41	0.12～10.57	第 1 位
2	总硬度	91	21	23.08	25.51～86.2 德度	0.01～2.42	第 2 位
3	挥发酚类	91	19	20.88	0.002～0.027	0～12.5	第 3 位
4	溶解性总固体	91	17	18.68	1009.17～4501.34	0.01～17.01	第 4 位
5	NO_2—N	91	15	16.48	0.024～0.395	0.20～18.76	第 5 位
6	悬浮物	91	15	16.48	58～21508	0.16～429.16	第 5 位
7	铁	91	14	15.38	0.3～64.70	0.0～214.67	第 6 位
8	锰	91	12	13.19	0.1～4.485	0.0～43.85	第 7 位
9	氟化物	91	12	13.19	1.0～7.7	0.0～6.7	第 7 位
10	NH_4—N	91	11	12.09	0.65～14.00	0.30～27.01	第 8 位
11	化学需氧量（COD）	91	10	10.99	3.17～9160	0.06～3053.33	第 9 位
12	汞	91	9	9.89	0.001～0.0035	0.0～2.5	第 10 位
13	pH 值	91	4	4.40	6.2～6.5, 8.5～9.5	0.3～1.0	第 11 位
14	铅	91	3	3.30	0.056～0.90	0.12～17.0	第 12 位
15	镉	91	2	2.20	0.013～0.014	0.3～0.4	第 13 位
16	溶解氧（DO）	91	2	2.20	1.31～1.48	2.05～1.70	第 13 位
17	铜	91	1	1.10	1.013	0.1	第 14 位
18	锌	91	1	1.10	46.15	45.15	第 14 位

注：悬浮物评价标准采用 50mg/L

（4）矿井水中大多数微量组分含量超过卫生生活用水的临界允许浓度，如不作相应的净化处理，不可以直接排往地表水流。

矿井水除了在表 4－9 中所有各种元素的含量上较表生作用带水有较多的增加以外，其余水中矿化度、硬度及悬浮物质的含量也常有明显的增加。含有多种人工途径的污染成分也常是矿井水的特征。

我国北方岩溶充水矿区，矿井水除了奥陶寒武系岩溶水外，还有 CP 煤系，上覆新生界底部及太原组薄层灰岩水，全区矿井水水化学特征，水温介于 8～37℃，pH 值 6.9～9.5，水中 Na^+、SO_4^{2-}、Cl^- 含量变幅较大，Ca^{2+}、Mg^{2+}、HCO_3^- 含量变幅较小，与岩溶水相比较，矿井水的溶解性总固体和碳酸盐、氧化物含量的均值约比岩溶水高 1～3 倍，Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、HCO_3^- 等含量高于岩溶水的 0.3～0.5 倍，可形成 SO_4^{2-} 和 Na^+ 离子比例较高的水化学类型，如 HCO_3—Ca·Mg、SO_4—Ca·Na、SO_4·HCo_3—Na·Ca 型水。而矿区岩溶水，因为补给充沛、水量丰富，矿化度低，所以水质较好。

三、我国一些煤田地下水水质概况

1. 陕北侏罗纪煤田

煤田位于黄土高原地区，黄土大面积分布，沟谷纵横，地形切割比较利害，许多地方

基岩上覆裸露型黄土，含水甚弱；河谷地带有厚度不大，分布比较局限的富水性较弱的冲积层；部分地区有风积为主的砂层分布，一些地段其厚度数米至数十米，当砂层成大片分布，面积和厚度较大时，常形成本区最主要的含水层，在基岩顶面比较低洼而砂层最厚的地方，往往形成具有供水前景的水源地；在煤层露头地段，常常有火烧岩分布，厚度10～40m左右，由浅红色和砖红色烧变后的破碎岩块组成，空隙极为发育，见此层位的钻孔多漏水严重。当火烧岩分布较广或其上有大面积的砂层覆盖时，常形成本区又一主要含水层（带），沟谷中沿烧变岩底板常有泉水分布，其中一些泉水流量较大，且比较稳定，具供水意义。赋存于火烧岩和砂层中的地下水多为重碳酸型淡水，在沟谷地带常以泉水排泄，但是也有一些地下水汇集到比较低洼的地区后，以蒸发形式排泄，如红碱淖地区便是一个集中的以蒸发方式排泄的地区，此时排泄区和邻近地段，地下水的矿化度很高，远离排泄区则矿化度随之降低。

陕北地区侏罗纪煤田构造极为简单，断裂和构造裂隙均很少见，风化裂隙是本区基岩中地下水赋存的最主要空间。同时，由于区内地下水是依靠大气降水大面积就近渗入补给，因而在风化带内基岩的富水性相对于新鲜的未经风化的基岩而言要好得多，矿化度也低，多为 HCO_3—Ca·Mg 型淡水，矿化度一般小于 0.5g/L；而风化带以下基岩的富水性很弱，地下水多为 CL·SO_4—Na 型水，矿化度多大于 1g/L 且氟含量也较高，氟含量最高者可达 6.8mg/L。风化带在梁原峁区较深，可达 80m 以上，一般地区在 40m 左右。本区地层的水质状况可参见表 4-14。此类地区的共同特点是基岩的富水性均弱，而水质垂直分带现象明显，分带的界限是风化基岩带的底界。

表 4-14　陕北活鸡兔露天区地层水化学类型

含水层段	单位涌水量（L/s·m）	矿化度（g/L）	水化学类型
河谷第四系潜水	0.21	0.285	HCO_3—Ca·Mg
梁原区第四纪风积砂		0.181～0.444	HCO_3—Ca·Mg
中侏罗统安定组	0.0009	0.355	HCO_3—Na·Ca
中侏罗统直罗组	0.00218	0.282	HCO_3—Na
中下侏罗统延安组第二段	0.00034～0.0105	浅部 0.288	浅部 HCO_3—Ca·Mg
（1^2 煤—2^4 煤）		深部 0.166～3.271	深部 Cl·SO_4—Na
中下侏罗统延安组第三段	0.00024～0.0831	1.88～2.918	Cl·SO_4—Na
（2^4 煤—4^3 煤）			
中下侏罗统延安组第四段	0.0005231	4.775	Cl·SO_4—Na
（4^3 煤—5^1 煤）			
中下侏罗统延安组第五段	0.00063	3.821	Cl·SO_4—Na
（5^1 煤—延安组底界）			
上三叠统永坪组上部	0.201	41.47	Cl—Ca·Na
浅部火烧岩	0.000547	0.166～0.529	HCO_3—Ca·Mg

2.滕县及丰沛煤田

煤田被巨厚的新生界所覆盖，基岩含水层补给条件不良。新生界厚度约 200m 左右，

可划分为数个含水组，其底部砾石层往往不整合地覆盖于煤田中各基岩含水层之上，成为各基岩含水层间的水力联系通道。但是，在底部砾石层之上，存在有厚度较大的隔水层，阻隔了它同新生界上部各含水层的水力联系。在煤田中，水质呈现明显的重直分带性，其中新生界Ⅱ含往下，地下水中的矿化度均大于 1g/L，多在 2～4g/L 左右。尽管煤田中各基岩含水层的富水性相差悬殊，但是，在厚覆盖层且下部有较厚隔水层的条件下，其补给条件均较差，也呈现出矿化度都较高的这一特点，其水化学特征，见表 4－15。

表 4－15　滕县及丰沛煤田的水化学特征

含水层编号	含水层底板深度 (m)	含水层厚度 (m)	单位涌水量 (L/s·m)	矿化度 (g/L)	硬度 (德国度)	水质类型
Q_I	20.00～33.10	35.10～20.00 / 27.95		0.81～1.283	26.76～47.73	HCO_3 型为主
Q_{II}	36.6～86.5	30.3～1.4 / 13.01	0.233～3.45	0.389～1.53	14.36～58.94	$HCO_3 \cdot SO_4$—K + Na·Ca
Q_{III}	57.8～144.77	52.9～3.20 / 21.11	0.31～0.67	2.92	60.7～84.90	SO_4·Cl—Ca
Q_{IV}	72.5～181.9	40.5～1.90 / 15.86	0.173～0.621	2.92～3.506	101.84～114.28	SO_4·Cl—Ca·Mg SO_4·Cl—Ca·K + Na
Q_V	88.9～195.10	13～1.7 / 3.75	0.0028～0.092	2.335～1.412	141.94～63.82	SO_4—Ca·K + Na
Q_{VI}	95.66～263.00	25.2～0 / 5.09	0.007～0.489	2.42～2.977	70.07～100.43	SO_4—Ca·K + Na
J_3—K_1 (Ⅰ)		200±	0.00915	2.839		SO_4—Ca·K + Na
J_3—K_1 (Ⅱ)			0.007～0.212	4.427～1.477		SO_4—K + Na·Ca SO_4·Cl—K + Na·Ca
P_1sh (Ⅰ)		39.4～84.88 / 60.00	0.0001～0.006	2.181～4.538		SO_4—Ca·K + Na SO_4—K + Na
P_1sh (Ⅱ)		0～52.4 / 20.00	0～0.07			
P_2sh (Ⅲ)		3.76－51.00 / 17.00				
C_3t (Ⅰ)		4.18～22.64 / 10.60	0.003～1.4	1.757～5.542		SO_4·Cl—K + Na
C_3t (Ⅱ)		0.89～39.87 / 13.25	0.006～0.047	2.363～4.368		SO_4—Ca·K + Na SO_4—K + Na·Ca
C_3t (Ⅲ)		1.43～12.93 / 6.34		4.155～4.417		SO_4—K + Na·Ca SO_4—Ca·K + Na
C_2b			0.0099～0.057	4.038～4.71		SO_4—Ca·K + Na
O_2			0.023～2.78	4.38～4.5		SO_4—Ca·K + Na

3. **江西丰城曲江井田**

该井田为南方隐伏型煤田。煤系为二叠系上统龙潭组，其沉积基底为茅口组灰岩，茅口灰岩虽然为区域性强含水层，但是因为含煤段主要在龙潭组的中上部，煤层与茅口灰岩间有厚度百米以上的相对隔水岩层，所以茅口灰岩对煤层开采不构成威胁。煤系上覆有二叠系上统长兴组及侏罗系、第三系及第四系，在赣江两岸地区，冲积层厚度 9～17m，补给条件好，富水性强，单位涌水量可达 6.25～9.02L/s·m，矿化度很低。由于冲积层覆于各时代的基岩之上，加之当地降水比较充沛，使各基岩含水层补给条件也较好，基岩含水层中地下水多为低矿化度淡水，以 HCO_3 型为主，仅侏罗系及龙潭组老山段等透水性弱的岩层中深部矿化度较高，而长兴灰岩及茅口灰岩则因其补给条件较好，而导水性也较好，尽管深部和浅部单位涌水量差别较大，但均为淡水，矿化度相差很小，见表 4－16。

表 4－16　江西丰城曲江井田的水化学特征

含水岩层	单位涌水量 (L/s·m)	pH 值	矿化度 (g/L)	水化学类型
冲积层	6.25～9.02	6.14～7.8	0.11～0.23	HCO_3—Ca
渐新统临江组	0.039～0.044	5.96～8.2	0.036～0.253	HCO_3—K + Na HCO_3·Cl—Ca·K + Na HCO_3—Ca·Mg
侏罗系下统门嵴山组	0.000041～0.0382	5.61～8.1	0.034～2.62	HCO_3·NO_3—Ca·Mg
三叠系下统大冶群	0.000041～9.606	7.6～8.95	0.148～0.757	HCO_3—Ca
二叠系上统长兴组	浅部 7.58～62.18	7.5～8.3	0.185～0.288	HCO_3—Ca·Mg HCO_3·SO_4—Ca
	深部 0.0079～0.021	7.25	0.233	HCO_3—Ca
二叠系龙潭组王潘里段	0.254～0.284	6.9～8.2	0.14～0.303	HCO_3—K + Na HCO_3·SO_4—Ca·Mg·K + Na
* 二叠系龙潭组狮子山段	0.00581～0.186	7～8.5	0.316～0.362	HCO_3—K + Na·Ca
* 二叠系龙潭组老山段	0.0026～0.033	8～9.1	0.274～3.19	HCO_3·SO_4—K + Na·Mg HCO_3·SiO_3—K + Na·Al
* 二叠系龙潭组官山段	0.00624～0.0837	8～8.7	0.155～0.23	HCO_3—K + Na HCO_3·SiO_3—Na + K·Al
* 二叠系茅口组	0.0685～0.103	6.7～8	0.072～0.398	HCO_3·Cl—Ca·K + Na

* 代表为邻区资料。

4. 济宁煤田三号井

济宁煤田为新生界覆盖的隐伏煤田。井田内新生界厚度为 103～265m，其底部含水微弱，井田内基岩含水层的补给条件不好，地下水的矿化度多较高（表 4－17），但是由于奥陶系灰岩是区域性强含水层，可以从井田外得到补给，其浅部地下水的交替条件较好，矿化度较低，深部径流滞缓，矿化度增高，呈现出水质的垂直分带现象。由于岩溶发育的不均一性，奥陶系灰岩浅部钻孔单位涌水量差别很大，但是矿化度变化很小，水质类型相同，这主要和扩散作用有关。

表 4－17　井田中基岩含水层的单位涌水量及水质特征表

含水层		单位涌水量 (L/s·m)	矿化度 (g/L)	水化学类型
J_3 下部砾岩		0.0764～0.1293	2.33	SO_4—K + Na
三煤顶板砂岩		0.0075	1.833	HCO_3—K + Na
太原组第三层灰岩		0.0000031～0.00306	2.303	HCO_3—K + Na
奥陶系石灰岩	－500m 以浅	0.0987～1.8342	0.5811～0.6184	HCO_3·SO_4—Ca·Mg
	－500～－700m	0.0141～0.0245	2.151	SO_4—Ca

5. 渭北煤田及韩城矿区

渭北煤田为华北型石炭二叠纪煤田，区内包括，铜川、蒲白、澄合及韩城矿区。渭北煤田沉积基底为奥陶系灰岩，灰岩岩溶水系统可以划分为合阳一耀县单元和韩城单元。两单元内，灰岩露头区大气降水和流经露头区的河流渗漏是地下水的主要补给来源，从补给区至集中排泄区，矿化度逐渐增高，水质类型也有相应的改变，在单斜的深部，远离补给区、排泄区以及主要的径流地带，其矿化度最高（表 4－18）。合阳一耀县单元岩溶水以泉水集中排泄为主，而韩城地区没有岩溶泉水出露，主要以电厂取水和煤矿排水为排泄方式，从单斜的边部断褶带补给径流区向深部循环滞缓区，钻孔中矿化度、总硬度、SO_4^{2+} 含量及水化学类型均呈有规律地变化（表 4－19）。从表 4－18 和表 4－19 中可见，两单元中地下水水质既呈现出明显的按深度的垂直分带性，又表现出从补给区至排泄区水质递变的趋势。

表4-18 渭北煤田水质分区表

单元分区	分区编号	分区类型名称	矿化度(g/L)	水化学类型
合阳—耀县单元	合耀区—Ⅰ	裸露及浅埋藏补给区	0.2~0.5	HCO_3—Ca·Mg·Na
			0.37~0.76	HCO_3·SO_4—Na·Ca·Mg
			0.76~0.83	HCO_3·SO_4·Cl—Na·Ca·Mg
	合耀区—Ⅱ	缓单斜层间承压循环区	0.63~1.00	HCO_3·SO_4—Na·Ca
	合耀区—Ⅲ	缓单斜承压循环滞缓区	>1.00	SO_4·HCO_3—Na·Ca·Mg
	合耀区—Ⅳ	浅断陷径流区	0.73	HCO_3·SO_4·Cl—Na·Ca·Mg
	合耀区—Ⅴ	集中排泄区	0.983	SO_4·HCO_3·Cl—Na·Ca
韩城单元	韩城区—Ⅰ	断褶带补给径流区	0.86~1.34	SO_4·Cl—Ca·Mg·Na
	韩城区—Ⅱ	单斜层间承压循环区	0.86~2.0	SO_4·Cl—Na·Ca·Mg
	韩城区—Ⅲ	单斜承压循环滞缓区	>2.0	SO_4·Cl—Ca·Mg

表4-19 韩城矿区水质状况表

部位	孔号	含水层段	试段顶面标高	总矿化度(g/L)	总硬度(法国度)	SO_4含量(mg/L)	水化学类型
边部↓深部	电厂水源井	Ⅲ	330	0.83	27.67	377.71	SO_4·HCO_3—Ca·Na·Mg
	SK_8	Ⅴ	376.05	1.064	32.638	416.54	SO_4·Cl·HCO_3—Ca·Na·Mg
		Ⅲ	230.86	1.607	38.57	500.51	Cl·SO_4·HCO_3—Na·Ca·Mg
	SK_6	Ⅴ	502.37	0.88	19.76	242.84	HCO_3·SO_4·Cl—Na·Mg·Ca
		Ⅲ	346.87	0.88	20.53	243.67	HCO_3·SO_4·Cl—Na·Mg·Ca
	S_{23}	Ⅵ	172.64	0.64	13.10	143.58	HCO_3·SO_4—Na
		Ⅴ	132.35	0.69	21.48	272.68	SO_4·HCO_3—Ca·Na
	S_{21}	Ⅵ	134.44	0.80	15.69	247.85	SO_4·HCO_3—Na
		Ⅴ	98.38	3.29	89.86	1512.04	SO_4·Cl—Ca·Na
	201	Ⅵ	93.51	2.80	70.74	1323.13	SO_4·Cl—Na·Ca
		Ⅴ	17.21	4.30	118.64	2008.04	SO_4·Cl—Ca·Na
	S_{17}	Ⅵ	-1.82	0.218	7.09	46.92	HCO_3·SO_4—Ca·Na·Mg
		Ⅴ	-38.52	4.83	112.99	1948.72	SO_4·Cl—Ca·Na

第四节　煤矿床开采以后地下水化学场的变化及矿区地下水水质保护

一、煤矿床开采后矿区地下水化学场的变化

在矿床勘探及开采过程中，矿区的地下水流场和水化学场均会发生改变。水化学场的改变通常则是受流场的改变所制约。在勘探过程中，水化学场的改变只要采取一些措施常常是可以避免的，而在矿床开采过程中，水化学场的改变则常是不可避免的。

矿床勘探和开发引起的水化学场改变可以表现在以下几个主要的方面。

(1) 矿区的勘探钻孔通常要穿过1个以上的含水层，有时可揭穿5～6个含水层之多，这些含水层的水质、水量和水位会有所差别；同时，钻孔也可能揭穿一些夹于隔水岩层之中的易溶盐层，如石膏、岩盐层等。虽然在钻孔峻工后一般要将煤层、含水层间封闭隔离，但是，封闭隔离不当或者封孔质量很差的情况也屡有发生，造成各个含水层之间通过这些钻孔产生水力联系，形成地下水化学成分的混合作用。同时，对钻孔所揭穿的石膏层、岩盐层产生溶解，使得地下水的矿化度明显地增高。在陕北地区，白垩系洛河砂岩含水比较丰富，水质也较好，是区域性的地下水开采对象，许多地区已开发利用。该含水层下伏宜君组砾岩，砾石周围常发育有纤维状石膏（$CaSO_4 \cdot 4H_2O$），所含地下水矿化度较高，其水位高于洛河砂岩的水位，但在自然状况下，其间没有明显的水力联系。在彬长矿区，由于矿床勘探过程中钻孔封孔不良等原因，勾通了宜君砾岩与洛河砂岩之间的水力联系，使宜君砾岩中的地下水通过这些封闭不良的钻孔补给洛河砂岩，使其矿化度、硬度较大幅度地上升，同时，又由于宜君砾岩含水层的排泄条件变好，径流得到改善，进一步加强了砾岩中石膏纤维的溶滤作用，在3年的时间内，地下水的矿化度增长了许多（表4-20)。类似于彬长矿区的这种情况在贵州等一些矿区也都存在着。六枝矿区供水的取水对象，为三叠系关岭灰岩，其下部岩段夹石膏层，近些年来，由于勘探及开采地下水的钻孔对石膏层封闭不良，因而引起水中矿化度及硬度的增高。

表4-20　地下水矿化度随时间变化表

孔号	采样日期（年、月、日）	阴阳离子总量（mg/L）	孔号	采样日期（年、月、日）	阴阳离子总量（mg/L）
95	1981.9.14	436.84	135	1982.11.7	1029.72
11	1982.6.28	1640.24		1982.12.11	1679.05
	1982.12.11	1679.05	S_2	1984.4.17	2488.44
	1983.3.31	1687.61	S_3	1984.4.24	3977.36
	1983.12.10	1702.03			

(2) 矿山开采过程中必须大量疏排地下水，使得直接充水含水层的水位大幅度地下降。矿山开采时，直接充水含水层常常不止一个，特别是在多煤层多含水层矿区，通常有

多个直接充水含水层，它们都向矿井充水，矿井水的化学成分实际上为这些直接充水含水层中的地下水混合而形成，取决于这些含水层各自的水量、水质和补给条件。同时，直接充水含水层的水位大幅度下降的结果，引起其补给来源增加，与其它含水层（或含水体）的水力联系增强，水化学场之间的联系也增强了

(3) 地下水流入矿井，压力、温度、氧化一还原电位等均要求发生相应的变化。煤系中，常含有较多的硫化矿物，但一般均分布在煤层和相对隔水岩层之中。在自然状态下，深部地下水含氧甚少，而且硫化物与地下水接触的机会也少，不易氧化。在煤矿开采以后，煤层顶部产生冒裂带，底板岩层也会遭到不同程度的破坏形成裂隙，不仅形成导水通道，而且也使地下水与这些围岩中所含的硫化矿物有了广泛的接触，矿井通风也提供了较丰富的氧气，使硫化矿物产生氧化，因而矿井中硫酸根离子和硬度均要较天然状态下的地下水增高。例如，徐州矿区韩桥、青山泉两矿的太原组灰岩水，从50年代到80年代，硬度增加了1.2～2倍，SO_4^{2-}含量增加了13.3～36.6倍。奥陶系灰岩水硬度增加了0.6倍，SO_4^{2-}含量增加4.9倍。在矿井水的硬度和SO_4含量增加的同时，其它一些离子成分可能也有增加的趋势，如Sr、V、Zr、Ga、Ba等。在硫化矿物氧化溶滤的同时，硫酸盐矿物主要是石膏也常遭受溶滤。

(4) 采矿活动造成的水质污染。含水层中的地下水进入矿井以后，如不采取防范措施，其水质将受到各种采矿活动的污染，这种矿井水多不宜作生活用水，如果未经处理直接排放则可能引起地表水体和其它含水层水质遭受污染。据山西煤炭局统计，大同、阳泉、西山、潞安、汾西、轩岗、霍县、晋城等八大矿务局，排放的废水和污水总量每年可达2300万t。这些矿井水的特点。①pH值一般为4.6～7.8，少数矿井（如，阳泉南庄矿pH为3)，酸性较强。②硬度普遍较大，一般为22.2～40德国度，最大的（如，汾西柳湾矿）矿井水硬度达75.8德国度。③化学指标偏高。阳泉矿区南庄矿，矿井水中矿化度大于2g/L，挥发酸达0.05mg/L,超标5倍，化学耗氧量也较高；汾西矿区柳湾矿，耗氧量超标1.24倍，硫化物均超标。④毒性指标均有检出和超标。轩岗矿区六亩地矿，矿井水中汞含量为0.0074mg/L，超标7.4倍；霍县辛置矿煤泥水中6价铬含量为0.135mg/L，超标2.7倍。除了矿井水以外，还有矿山矸石堆也可能成为地下水、地表水的污染来源。矸石堆中常含有一些可溶性有害成分，某些组分遭受风化后也可能形成一些可溶性物质，在大气降水的淋滤作用下，它们可能成为矿区地下水、地表水的新污染源。矸石中普遍含硫，四川南桐、贵州六枝一些矿山矸石中，硫含量可高达8%～16.08%，风化淋滤后形成酸性水渗入地下，造成硫酸型地下水区。矿区洗煤厂和其它一些附属工厂的工业污水可能成为矿区地下水及地表水的另一污染来源。例如，汾西三给洗煤厂，煤泥水中氟的含量高达1.92mg/L,超标1.92倍。

矿床勘探和开发过程中矿区水化学场的改变程度取决于各种因素：

(1) 地质一水文地质条件。矿区地层的岩性、含水性及其组合关系，含水层的补给、径流和排泄条件决定着含水层同矿井充水的关系，同时，也决定着在煤矿开采后含水层间、地下水与地表水间的水力联系程度，是控制矿区地下水化学场变化的主导因素。矿井的直接充水含水层的水化学特征常是形成矿井水化学成分的最主要条件，特别是其中主要的直接充水含水层的地下水的化学特征更为重要。其次，那些虽然较小，但水质特殊的直接充水含水层也对矿井水的化学成分的形成有重要作用。矿井的间接充水含水层是直接充

水含水层的补给水源，它决定矿井涌水量的变化趋势，同时，也决定着水化学特征的变化趋势。

在矿区地质剖面中，第四系覆盖层的厚度和结构，常常决定着地面各种污染是否可以影响到深部含水层及其影响程度。当第四系上部有可靠的隔水层时，则矿区地面各种污染源较少地对矿区地下水的化学场产生严重的影响。可采煤层以上的隔水岩层不仅是阻隔其上含水层向矿井充水因素，也是阻隔上部污染源污染深部地下水的因素。

(2) 矿区的排土（矸）场的位置、堆放方式及其中有害物质可溶性成分的含量。排土（矸）场的淋滤常是矿区地下水的重要污染的前提条件，而矸石堆中可溶物质、有害物质的成分和含量则是决定污染成分和程度的物质基础。在一些情况下，排土（矸）场的污染也可以通过地表水间接地对地下水产生作用。

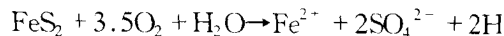
(3) 矿区的附属设施，工厂和生活区的分布、耗水量和污水处理措施。工业用水及生活用水是地下水的又一个污染来源，工业用水及生活用水水量越大，则造成的污染也可能越严重，这些污水的下渗条件越好，则对地下水的污染也越明显。按规定，矿区所排放的工业和生活污水必须符合一定的标准。经过处理而且达到标准的污水则可以把这种污染减少到相当的程度。

二、老窑水化学特征

老窑水是一种具有特殊化学成分的赋存于老窑中的地下水。老窑水的化学成分很复杂，它取决于老窑水的补给、排泄条件、老窑的深度，老窑所开采的煤层的煤质及顶、底板岩性及气候条件等。

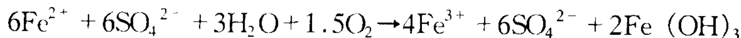
我国煤矿开采历史悠久，许多矿区浅部老窑星罗棋布，总积水量很大，是开采浅部煤层的主要充水水源之一。老窑向矿井充水，虽然常以贮存量为主，但是来水迅猛，常常防不胜防，给矿床开采带来较大的危害，而且因为其水质多呈酸性，所以对排水设备和其它井下设备、设施有大的腐蚀性。

老窑水之所以呈酸性，一般均为黄铁矿氧化而成。在煤层开采以前，处于还原条件下的黄铁矿，是比较稳定的矿物，但是在煤层开采后，在老窑中，这些黄铁矿将会遇到溶有氧气的水，形成易溶的硫酸盐：

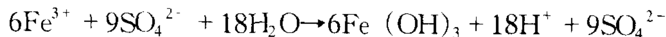


$$FeS_2 + 3.5O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H$$

$FeSO_4$ 可继续氧化成 $Fe_2(SO_4)_3$。在 $pH>3$ 时，$Fe_2(SO_4)_3$ 将发生水解形成氢氧化铁沉淀：



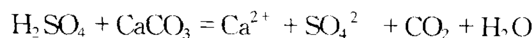
$$6Fe^{2+} + 6SO_4^{2-} + 3H_2O + 1.5O_2 \rightarrow 4Fe^{3+} + 6SO_4^{2-} + 2Fe(OH)_3$$



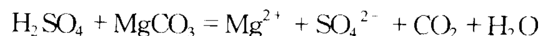
$$6Fe^{3+} + 9SO_4^{2-} + 18H_2O \rightarrow 6Fe(OH)_3 + 18H^+ + 9SO_4^{2-}$$

(1) 老窑水的氧化条件不同，黄铁矿氧化的结果也不同

①在强烈氧化条件下，老窑水中有碳酸盐岩石存在时，黄铁矿氧化而形成的硫酸将被中和：



$$H_2SO_4 + CaCO_3 = Ca^{2+} + SO_4^{2-} + CO_2 + H_2O$$



$$H_2SO_4 + MgCO_3 = Mg^{2+} + SO_4^{2-} + CO_2 + H_2O$$

硫酸被碳酸盐岩石中和后，水中 pH 值增高，二价铁继续氧化为三价铁后，即形成氢

氧化铁沉淀。在这种条件下形成的老窑水多为硫酸钙镁型水，反应所产生的 CO_2 将进一步促使碳酸盐岩形成重碳酸盐而溶解，从而也增加了重碳酸根离子的含量。

②老窑围岩中无碳酸盐岩类时，在强烈的氧化条件下，二价铁将氧化为三价铁。由于黄铁矿氧化后生成的硫酸不能得到中和，因而 pH 值降低，常形成既含有 Fe^{2+} ，又含有 Fe^{3+} 的酸性水，老窑中黄铁矿的含量越高， pH 值往往越低。

③如果老窑水中含氧不多，氧气得不到足够的补充，那么黄铁矿形成 $FeSO_4$ 后氧化作用不再继续，所形成的游离硫酸与碳酸盐岩中和后，形成 Ca^{2+}、Mg^{2+} 及 SO_4^{2-} ，同时 CO_2 与碳酸盐岩作用生成易溶的重碳酸钙、重碳酸镁，此时，老窑中将形成硫酸重碳酸钙镁水。老窑围岩中碳酸盐岩类缺乏时，则也会形成酸性水，同时含有 Fe^{2+}。

（2）老窑水的水质状况除了取决于老窑的煤层及围岩中黄铁矿的含量和是否存在碳酸盐岩以外，还取决于老窑水的补给、排泄条件。老窑水通常主要是靠大气降水补给，少数的老窑可能得到地表水的补给。大气降水和地表水通过老窑的回采裂隙而进入老窑，滞留在老窑中，而以老窑泉水、渗入生产矿井或者渗入其它含水层而排泄：

①在排泄不良或缺乏排泄条件的情况下，老窑水交替极为微弱。在老窑的围岩中，如果既富含黄铁矿，又含碳酸盐岩类，则形成高矿化度的硫酸钙镁型水。如果老窑的围岩完全是碎屑岩，缺少碳酸盐岩时，则形成矿化度高的、富含铁离子的强酸性水， pH值可低达 2～4 以下。

②在老窑水排泄条件较好的情况下，水可以较快地交替循环，其结果，可以使其矿化度降低或者 pH 值增高。除了形成硫酸盐型水外，还可以形成硫酸重碳酸盐型水。如果老窑开采深度较大，老窑水在地势低洼处，主要以泉的形式排泄时，则在雨季老窑浅部地下水将受大气降水淡化，而交替也较强，深部的交替条件较弱，可以形成老窑水自浅而深的水质分带现象。

我国东北、西北、华北、西南各地区的侏罗纪、第三纪、三叠纪及北方石炭二叠纪煤田中的二叠纪煤系，为陆相成煤环境，煤层的顶底板多为碎屑岩，缺少碳酸盐岩层，虽然煤层中黄铁矿含量较海相环境低，但是黄铁矿氧化后所形成的游离硫酸不易得到中和，成为酸性老窑水。我国北方石炭二叠纪煤田中的石炭纪煤系和南方的二叠纪煤田多为海陆交互相煤田，煤系中常夹有石灰岩层，但是除了少数一些煤层以外，多数煤层的顶底板仍然是碎屑岩类，不是碳酸盐岩层，在老窑中黄铁矿氧化后，亦形成酸性水。由于海陆交互相煤层及围岩中黄铁矿的含量常常较高，从这点上讲，更有利于酸性水的形成，因而老窑水多以酸性水为特征，多以硫酸钙镁型水为主，矿化度较高。

（3）黄铁矿的氧化速度影响到酸性水形成所需要的时间。黄铁矿的氧化速度受气候条件控制，其过程从数天至数月，温度愈高则愈有利。

在开采浅部煤层时，生产矿井通常易接受老窑水的渗入补给。在那些煤层的围岩都是碎屑岩类（碳质页岩、泥岩、粉砂岩、砂岩等），矿床水文地质条件简单的生产矿井中，矿井涌水量不大，老窑水的比例较高，常易形成酸性矿井水。酸性矿井水的形成也与生产矿井围岩和煤层中常富含黄铁矿成分，回采后氧化和受大气降水通过回采裂隙带向下淋滤有关。例如，贵州六枝矿区凉水井煤矿，开采上二叠统海陆交互相龙潭组煤层，煤层硫分含量最高可达 8.51%，平均 4.73%。大气降水沿老窑渗入补给是矿井的重要充水来源，矿井雨季的涌水量最大为 $2.7m^3/min$，旱季最小涌水量为 $0.3m^3/min$，年平均涌水量在

0.8m^3/min 左右，其水质情况，见表 4-21。表中可见，开采中、下煤组的 1 号小井 pH 值最低，这主要是因为中、下组的煤层及其围岩中黄铁矿含量较高的原因。在矿井开拓中，还发现上水平比下水平矿井水的 pH 值低，这是因为开采上水平时受老窑水补给较多的关系。

表 4-21 凉水井煤矿水质状况表

项目 \ 矿井编号	1 号小井	2 号小井	大井
总酸度（毫克当量/升）	17	0.813	0.179
总硬度（德国度）	3.09	12.87	15.74
Ca^{2+} (mg/L)	42.96	220.44	195.99
Mg^{2+}	7.05	22.74	72.47
$Fe^{+}+Fe^{3+}$	94.84	2.041	26.533
Al	31.976	3.1	1.55
阳离子合计	176.826	248.321	296.543
SO_4^{2-} (mg/L)	1952	1606	1481.5
HNO_3^{-}	0.008	0.004	痕迹
NO_3^{2-}	0.39	0.796	4
Cl^{-}	3.17	2.86	6.95
阴离子合计	1955.568	1609.66	1492.5
pH 值	2.75	6.2	6.99
开采煤组	中、下煤组	上煤组	全煤组

（据凉水井矿 1977 年 11 月资料）

当矿井水为酸性水时，对铁轨、钢丝绳、水泵、混凝土建筑物、铁及金属支架等都有强烈的腐蚀性，有时水泵连续开动十几小时就被腐蚀坏。凉水井矿初期排放 pH 值为 2～5 的酸性水时，从 1971年 9月至 1973年 12月的 28个月中，就有 3 台水泵腐蚀无法修复；反复修复能勉强使用的 2 台：Φ166×6 钢管报废 380 多米。

湖南渣渡矿区浅部老窑密布，一般深度 60m 左右，深者达百米以上，许多老窑水可以得到大气降水的渗入补给，而以泉的形式排泄。老窑泉水流量差别很大，从 0.091～9.438L/s，泉水流量的季节变化也很大，水温 10～18℃，水质较复杂，为 SO_4—Ca·Na·Al、SO_4—K·Na、SO_4—Ca 型酸性水，pH 值 2.7～3.8之间。区内利民矿，矿井涌水量最大 169m^3/h，平均 75m^3/h，因为老窑水的渗入补给，使矿井水的 pH值为 4.5 左右，局部地段矿井水的 pH值低达 2～3，呈较强的酸性，对矿井设施腐蚀作用较强。

广西、贵州部分矿区，在煤层中，有时还富含砷、氟等元素，相应老窑水中这些成分也偏高。

三、矿区的水质保护

矿区水质保护工作是环境地质工作的重要内容。防止矿区水质污染的措施，必须从矿区具体的地质一水文地质条件出发，必要时，应建立矿区地下水水质的长期监测网，预测矿区地下水化学场的变化趋势，从而采取必要的水质防护措施。对某些重点矿区可以建立起矿区地下水流场一化学场的物理模型和数学模型，研究污染物质的迁移和弥散规律。

矿区的地下水水质保护工作，一般有 3 个主要方面，即减少污染来源；开展地下水的综合利用；进行必要的卫生防护。当矿山矸石堆及露天排土场被淋滤后有可能污染地下水时，必要情况下应分析其中毒性物质的含量及分布情况。对矿区工业污水和生活污水，一般情况下，应该进行处理后排放，并达到相应的排污标准，保护地下水、地表水不受其污染。矿井水的综合利用不仅可以提高矿山的经济效益，而且有益于矿区的环境保护，矿井水用途较多，可以用之于洗煤、水采、水力充填，锅炉用水、冷却用水及灭尘用水；灌溉养鱼；作热泵系统调节建筑物室内温度；以及作生活用水等。矿井水的可利用程度通常由矿井水水量和水质状况所决定的，如果地下水的原始水质状况较好，可以在井下打排水巷道或者采用钻孔排水，然后集中排至地面使用；有些地区也可以考虑地面钻孔取水，同时，疏水降压的综合措施，这对于底板岩溶充水矿床地下水的防治往往是应该着重考虑的。

在已经形成地面塌陷的岩溶矿区，应及时处理地面塌陷，防止地表污染源通过地面塌陷区而进入矿井，保护矿井水的水质，同时减少矿井排水量。对有可能产生塌陷的地区，事先应采取预防措施。

对露天开采的矿床，应该考虑露天开采后的复田工作，恢复露天区的含水层及农田，为此应该考虑排土场的总体布置，对不同的土料应分别堆置，预防可能对所恢复的含水层水质的污染情况。

第五节　同位素在煤田水文地质工作中的应用

一、概述

近些年来，在煤田水文地质工作中同位素应用技术得到了迅速的发展，显示了较广阔的应用领域和较好的前景。同位素在煤田水文地质工作中的应用大体上可以分为三个方面。

1. 放射性同位素测井

又称之为核测井，包括 γ（天然放射性测井）、$\gamma—\gamma$（人工放射性测井）以及中子测井等各种手段，它是通过测量岩层的天然放射性强度和岩层在人工放射场的作用下的响应特征，来解释岩、煤层并测量煤、岩层的组分结构、空隙发育状况和含水特征的，在确定钻孔的地质一水文地质剖面方面有相当重要的作用。放射性同位素测井从性质上讲不属水化学方法，而属地球物理方法，故在本书中不作进一步讨论。

2. 利用放射性人工同位素示踪地下水运动，求取有关水文地质参数

在煤田水文地质工作中，放射性人工同位素示踪试验主要用于：

（1）进行连通试验，了解各水点之间的水力联系状况，在矿井水文地质工作中，常用以调查充水水源及其作用和地位，在条件适宜时，还可以计算地下水的实际流速，了解各种充水水源在矿井突水（或主要出水点）水量中的组成关系，分析充水途径和主要通道。

（2）在钻孔中进行放射性示踪测井，测定水文地质参数。

单孔放射性同位素示踪测井，是在钻孔中人为投放某种人工放射性同位素，用以对孔内地下水进行标记，然后通过观测放射性元素的浓度变化，确定钻孔所揭露岩层的渗透性能，计算渗透系数，测量地下水流向。当钻孔中有沿井轴方向的垂向水流时，尚可用以了解钻孔中各含水层间的水力联系状况及垂向水流流速及流向和流量。单孔放射性示踪测井的原理，与在煤田水文地质工作中已使用多年的井液扩散法和光电法测井的原理及方法基本相似。

多孔放射性示踪测井可以求岩层的有效孔隙度、导水系数和实际流速等水文地质参数，且通常在抽水时进行。其方法是在一孔中注入某种人工放射性同位素标记物，而在其它钻孔中检查这些标记物达到的时间和浓度变化过程，根据测量标记物注入孔和检测孔的距离、抽水流量及总水量、标记物从注入孔到达检测孔的时间，即可计算得含水层的有效孔隙率及导水系数。

用人工放射性同位素作示踪剂，和煤田水文地质工作中以往采用的盐类及染色剂的方法相类似，原理也相同，但是人工放射性示踪剂，其检测灵敏度特别高，极小的剂量可以获得很好的示踪效果，对钻孔内地下水的状态干扰也极小，而且大部分同位素示踪剂化学性质稳定，不易产生沉淀和被岩十所吸附，较之传统的盐类和染色剂示踪有许多优点，对于提高示踪试验的成果质量有显著的作用。

（3）放射性示踪除了用于连通试验和钻孔示踪测井之外，还可以用于研究降水、地表水的入渗过程，研究地下水的蒸发和蒸腾，研究地下水的弥散和追踪污染物的运移过程，在今后煤田水文地质特别是环境水文工作中有较大的潜力。

3. 利用环境同位素方法，研究矿床水文地质条件和矿区供水水文地质条件

人工放射性同位素示踪只是在小范围内利用同位素人为地标记地下水的方法，标记的范围和浓度等因素，则取决于试验的目的和水文地质条件。而环境同位素方法，则是利用那些天然存在于环境中的同位素，这些同位素主要是天然作用（主要是宇宙射线对大气圈上层）所形成，不是人为标记的结果，它在地下水中的含量受各种自然作用和因素所控制。环境同位素分布范围广泛，地下水的同位素组成与地下水的补给、径流、排泄条件有关，不同的水文地质单元其地下水常有不同的环境同位素特征，同一水文地质单元内的不同部位或地段，其环境同位素组成也具有某些规律性变化，这就给研究地下水的区域特征和区域水文地质问题提供了十分有利的条件。目前，在环境同位素中，应用得最多的是氘（^{2}H或D）、氚（^{3}H或T）、氧18（^{18}O）以及放射性^{14}C。其中，^{14}C、^{3}H为放射性同位素^{2}H、^{18}O属稳定性同位素，前者的丰度要比后者小若干个数量级，^{3}H、^{14}C的辐射能量很低，测量方法及精度是影响资料使用价值的关键，而^{2}H、^{18}O也需使用专门质谱仪才能达到测量精度要求。环境同位素方法，在近数十年的迅速发展也是和测量方法与精度的提高密切相关的。环境同位素的应用技术的迅速进步之原因，除了测量方法的迅速发展外，还

由于环境同位素自身有许多优势，其中氢氧同位素本身就是组成水的元素，而且在技术上具可检测性，是最理想的追踪地下水运动的示踪剂，而且在低温条件（<60℃）下地下水与围岩不会进行同位素交换，地下水中的同位素含量具有“守恒”性质，不同成因和经历的地下水具有不同的同位素组成和特征，这些使氢氧同位素不仅具有可追踪性，而且在水文地质上具有较好的追踪价值，除了氢氧同位素外，水文地质工作中常用的还有碳、硫和氮同位素，这些同位素为轻元素的同位素，又是地下水中常见的元素，特别是碳和硫，常常在地下水中分别以 CO_2、CO_3^{2-}、HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 形式成为地下水中主要的溶解组分存在，其化学性质稳定，不易沉淀，也是可检测和追踪的较好的示踪剂。随着同位素检测技术和精度以及同位素应用理论的进步，环境同位素的应用领域也在不断扩大，一些新的同位素也将会被进一步应用。

二、同位素在水文地质工作中的应用领域

1. 测定地下水的年龄

测定地下水的年龄，一般采用放射性同位素方法。每一种放射性同位素，其半衰期是一个常数，该放射性元素的衰变速度不受温度、压力、磁场和其它物理、化学条件的影响，只要能测得母体元素衰减和子体元素增长的相对关系，那么就能确定相应的地质体、水体或其它含有该种放射性同位素物体的相应年龄，这就是利用放射性同位素测定地下水年龄的理论基础。按照具体的水文地质条件和水体（水样）年龄的可能变化范围，选择合适的放射性同位素进行测量。氚（T）的半衰期 12、26a，可以用来确定 50 年以内的地下水年龄，^{14}C 半衰期为 $5730\pm40a$，一般可测定 500 年到 30000 年的地下水年龄。氚和 14℃ 是测定地下水年龄时所经常选用的同位素，但是在 50 至 500 年年龄间和 30000 年以上存在着测年的空白区，目前，有人试用 ^{85}Kr（半衰期 4×10^5a）、^{39}Ar（半衰期 269a）、^{32}Si（半衰期约 500a）、^{36}Cl（半衰期 4×10^5a）、^{10}Be（半衰期 2.5×10^6a）来测定地下水年龄，但在采样、测试及资料的分析使用尚在研究之中。

2. 研究地下水的径流条件和径流强度分区

同一水文地质单元径流条件不同往往会造成地下水年龄的差异，根据环境同位素所测定地下水的年龄的差异，往往能够判断各个地段上的地下水径流强度差异。在测定研究区各地段地下水的年龄的基础上，可以划分出不同的径流带，其中强径流带通常则是煤田水文地质勘探和矿区供水水文地质条件研究的重点地段。当然许多情况下这种径流强弱的划分只是粗线条的，但是它为进一步的深入研究打下了基础。

3. 研究地下水的补给条件、补给来源以及地表水和地下水、各含水层间的水力联系状况

地下水有各种不同的补给来源，包括大气降水、地表水和其它含水层的地下水，不同来源的地下水，往往具有不同的同位素组成特征，测量地下水的同位素组成，常常可以为分析地下水的补给来源，各种补给来源的地位和作用提供丰富的信息。

（1）大气降水的同位素特征。大气降水是地下水的最重要来源，也经常是地下水的最终补给来源，大气降水的同位素组成往往是地下水同位素的初始状态，研究大气降水的同位素组成特征是研究地下水同位素组成的基础。大气降水的同位素组成特征受多种因素控制，形成各种效应。

①总量效应：随研究区的降水总量增大，降水中重同位素贫化。

②大陆效应：随研究区距海岸距离增大，降水中重同位素含量降低。

③高度效应：随着研究区高程的增加，降水中重同位素含量下降。

④似高度效应：由于雨滴在降落过程中产生蒸发，降落距离大，则重同位素含量增加，造成到达地面的雨水中同位素组成的差异。

⑤纬度效应：降水中的重同位素含量随纬度的增高而降低。纬度效应主要因气温的变化而引起。降水中同位素组成，在随着纬度变化的同时，也随季节而变化。

因为降水中同位素组成有多种效应，也就造成同位素组成的差异，这种情况给区别地下水的补给区，判别地下水的补给区特征提供了有利条件。当然，从另一方面讲也给确定地下水同位素组成的初始状况增加了难度。

（2）地表水的同位素组成特征。地表水的来源是由大气降水和地下水补给的，其流域面积越大，接受大气降水的范围也大，所接受的大气降水与地下水的同位素组成差异也常较大。由于河流的径流速度较快，它的同位素组成特征往往是由各种补给水源的同位素状况及水量大小所控制的，主要为混合作用所形成。

（3）地下水的同位素组成特征。地下水的同位素组成受该地下水的补给水源、补给量以及补给、径流条件和地下水形成后的经历所控制，其中，补给水源的同位素特征是形成地下水同位素组成特征的基础条件，其补给区段常常是重点研究对象。当区外有地下水流入时，研究流入的方式、途径和范围也是重要的。

大气降水、地表水和地下水常具有不同的同位素组成特征，不同的含水层其同位素组成也有差异，这是研究地下水的补给来源和地表水以及各含水层间水力联系状况的基础。故取得补给区的大气降水、与地下水可能产生水力联系的地表水以及各主要含水层的有代表性的同位素样品资料，掌握研究区大气降水、地表水、各主要含水层地下水的同位素组成及其区别是研究的必要条件，一旦它们之间产生水力联系则其同位素组成特征也将产生相应的变化。

4. 研究地下水的形成条件

地下水的形成过程不同，其同位素组成特征不同，大气降水所形成的地下水，在其补给区及其附近其同位素组成接近于大气降水，δD—$\delta^{18}O$ 曲线和当地大气降水线一致；如果大气降水经过强烈蒸发再形成的地下水，则其 δD—$\delta^{18}O$ 关系曲线会偏移当地的大气降水线而向蒸发线靠近。水中重同位素与降水凝结的温度关系比较明显，凝结温度低则重同位素含量低，可以反映地下水形成的温度特征。

各种补给间的混合作用，使地下水水化学组分及同位素组成产生变化，由于其中同位素成分既不易产生沉淀，在一般温度条件下又不与围岩产生同位素交换，因而其同位素含量符合式（4-4）$Q_1A_1 + Q_2A_2 = A_{1+2}(Q_1 + Q_2)$，表明混合以后地下水中某同位素含量 A 由参加混合的各种水源的水量和其同位素的含量所决定。根据式（4-4）可以初步判别混合作用在地下水形成中所占的地位以及各种水源的混合比例。

5. 研究地下水天然流场和人工流场的特征与联系

地下水的流场，水化学场、同位素场之间具有十分密切的联系，表现出相当的协同性。地下水的流场变化，通常会引起水化学场，特别是同位素场的改变，同位素场的变化也常会反映出地下水流场的改变，利用这一原理，研究大型放（抽）水试验或矿井下突水前后地下水同位素场的变化，有助于更深刻地揭示地下水的的流场特征，更深刻地提示地

下水的补给、径流、排泄条件，有利于分析放（抽）水及突水水源特征及组成。

6. 研究矿区地热水的形成和估算深部热水的循环深度

对矿区地热场的研究表明，矿区地下热水的成因，一般为大气降水经深循环而形成。经过深循环的热水，其 $\delta^{18}O$ 往往较高，这是由于温度增高，使得水中同位素交换作用增强，从围岩中获得的 ^{18}O 也增多的原因。地下水的循环愈深，温度、压力愈高， $\delta^{18}O$ 也越高，据 $\delta^{18}O$ 的增高程度可以判断地下热水的循环深度。煤矿区地下热水一般起源于大气降水，在 $\delta^{18}O$ 增高的同时，通常仍保留着 δD 接近当地降水平均值这一特征。

7. 监测流场和地下水化学场的变化

地下水的监测是矿区供水一矿井排水一矿区环境水文地质保护这一系统工程的重要手段，除常规的水位、水量及水质监测内容外，同位素方面的监测内容常常能提供很有价值的资料，是今后地下水监测和控制工作必须重视的有效手段。

同位素技术在煤田水文地质工作中有重要的意义和前景，是一种有效的新手段，它可以使地下水的研究进一步定量化和微观化，有助于更深入地研究某些水文地质作用，地下水形成与演化的机理。但是，同位素技术仍然只是一种有效的手段，而不是地下水的研究的全部手段，它必须和其它的水文地质工作手段有机配合综合利用。同位素技术和其它水文地质工作手段间的关系，如同煤田地质综合勘探中各种勘探手段间的关系，一是要求手段自身具有有效性，可以解决某些水文地质问题，且在经济技术上有合理性；另一是要求各种手段之间形成最佳的组合状态，在保证工作程度和工作结论可靠性的前提下，应避免不必要的重复施工，充分发挥那些较经济而且有效的手段的作用。

应用同位素技术，还必须把地下水的同位素场的分析同煤田地质背景条件，同地下水的水化学场、地下水的流场分析结合起来才能取得好的效果，才能保证同位素工作结论的正确性。同位素工作可以在煤炭资源勘探详、精查阶段，也可以在矿区水源普、详查阶段以及专门水文地质阶段、矿井防治水阶段进行，和矿床水文地质工作或供水水文地质工作同时并作为其中的一种手段，一个工作方面，在工作布署之前应充分研究已有的地质、水文地质资料，建立起初步的水文地质模型，在同位素的资料分析应用中，必须根据水文地质条件分析，综合研究。

要发挥同位素方法的效果，结合煤矿床水文地质和矿区供水水文地质工作特点，一般应解决好地下水中同位素的初始值问题。

要解决地下水同位素研究的初始值问题，一般要从水文地质条件分析入手，首先圈出地下水的可能的补给区、径流区和排泄区，然后，选择有代表性的地点采样。在补给区，大气降水往往是主要的补给来源，大气降水中的同位素组成，随雨量、高程、季节等因素的变化而变化，随着包气带的厚薄、岩性的不同而有所不同，受其补给的地下水的同位素初始值必须进行合理的概化。最简单的办法是在补给区选择典型的地段，利用钻孔采集地下水同位素样品，必要时可以分季节或深度取样，取得补给区地下水同位素组成及变化资料，或者根据大气降水补给过程，在集中的补给期后采样。尽管大气降水中环境同位素丰度变化较大，但大气降水在入渗过程中，经过包气带强有力的调和作用，进入含水层各补给地点上的水又再次混合和弥散，这使得补给区地下水的同位素组成可以进行合理概化。随着地下水从补给区向径流区的汇集，混合作用将逐渐加强，使得各补给地点的地下水同位素组成渐趋一致。只要采样地点选择合适，是可以取得有代表性的初值的。在承压含水

层中，通常情况下，其补给区、径流区和排浅区比较明显，其初始值的选取则相对简单，但是对潜水含水层而言，补给区和径流区往往不易区分，可以增加采样数量或者作某种校正，必要时选取代表性地段分别采取大气降水水样及地下水样。

同位素工作尽可能从一个完整的水文地质单元考虑，但有时研究区只是某个水文地质单元的一部分，此时，则需要弄清研究区在水文地质单元中的部位和区段的水文地质条件，这是取得代表性初始值所必需的。

地下水同位素初始值的选择和校正是根据工作的目的确定的。在煤田中，许多水文地质问题的解决通常是通过研究放射性同位素氚（T）以及^{14}C、稳定性同位素氚（D）与^{18}O来解决的，研究 T、^{14}C 的目的主要是测定地下水年龄，并通过地下水的年龄差异去解决有关水文地质问题的。通常研究工作是在同一水文地质单元内进行的，故所测定的地下水的绝对年龄固然必要，但许多情况下，用以分析水文地质条件的主要是地下水的相对年龄，故在尽可能减少绝对年龄测定误差的同时，只要相对年龄不发生错误，则资料的应用的基础一般是可靠的，相对年龄的大小与放射性的同位素的多少直接相关。在不能获取新的放射性同位素的封闭环境中，如承压含水层的承压区，放射性同位素的多少常常直接反映出地下水年龄的大小，对于大气降水起源的 T 则更是如此。对^{14}C 而言，因地下水中通常溶蚀有侵蚀性 CO_2，而对碳酸盐岩进行溶解，使得岩石中不含^{14}C 的死碳不断进入地下水中，使^{14}C 的相对含量$^{14}C/^{12}C$ 比率减少，使得用其计算的绝对年龄较实际年龄偏大，但不论其误差如何，其中^{14}C 含量相对少的，其年龄总会老些。如果要用^{14}C 求得较为准确的年龄，对^{14}C 的初始值必须进行校正，校正方法比较多，但是，必须充分分析水文地质背景条件，在分析水化学场特征的基础上，选择合理的校正方法和校正系数。如果要对^{14}C 的初始值校正，通常在承压水区可以使用：（1）水化学方法。研究水中 $CaCO_3$ 的溶解过程，测定不同地点水样中 CO_3、HCO_3、CO_2 含量，求得所增加的 $CaCO_3$ 溶蚀量，求得较正系数。（2）平行测定^{13}C，利用稳定同位素^{15}C 做为溶蚀过程的示踪剂，求校正系数。（3）平行测定^{3}H 值，相互验证和修正，但^{3}H 的平行测定，主要限于较年轻的地下水。

为了提高地下水^{14}C 的年龄测量精度，可以用一种以上的方法进行校正，同时用水文地质条件、水化学场分析结果去检验。

三、同位素技术的应用实例

实例 1　潞安供水水源勘探中同位素技术的应用（据煤田水文地质局一队资料）

潞安矿区是我国重要的大型煤矿区，位于晋东南沁水煤田东部中段，开采石炭二叠系煤层，煤系基底为奥陶系，处于辛安泉域（图 4－3）。为解决矿区供水，煤田水文局进行了供水水源勘探，勘探期间使用了钻探、物探、抽水、长期观测等多种手段，同时应用了同位素方法，在查明供水文地质条件中发挥了重要作用。他们首先研究了当地大气降水、地表水、地下水同位素组成的主要特征及动态，在此基础上，结合工作区的地质——水文地质背景，利用同位系研究了勘探区的一些主要水文地质问题。

1．大气降水、地表水、地下水同位素组成的特征

（1）大气降水的同位素组成特征。利用大气降水 $\delta^{18}O$ 和 δD 值得到了本区降水线方程 $\delta D=7.7\delta^{18}O+10.82$，相关系数 $y=0.98$，与全球降水线接近。不同高程的大气降水水样

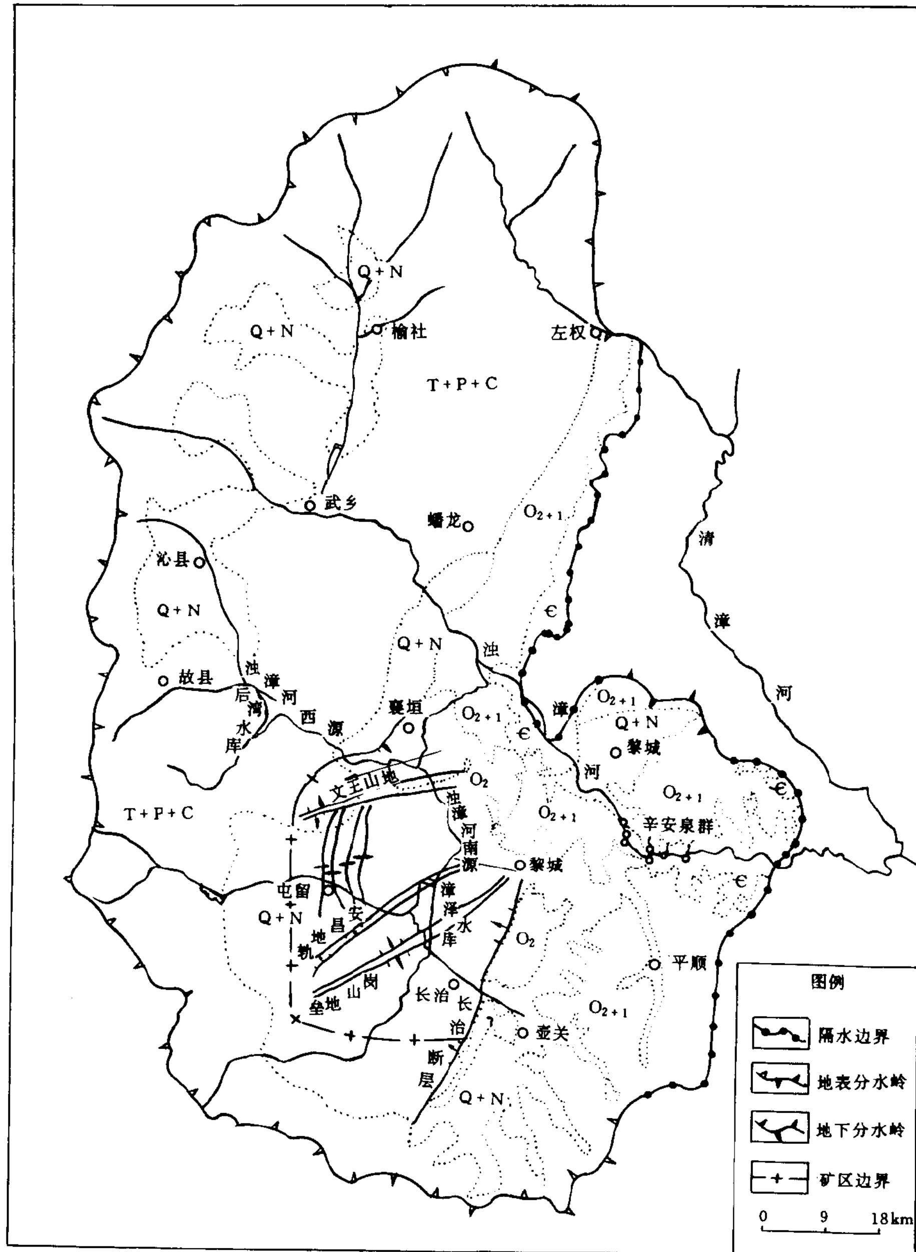


图4-3　泉域边界及地层分布图

的同位素组成，见表 4－22，用最小二乘法求高程与 $\delta^{18}O$ 和 δD 相关直线方程分别为 $H=-232\delta^{18}O-1155$（$r=0.98$）、$H=-13.16\delta D+200.4$。

（2）地表水的同位素组成特征。区内地表水的同位素特征，取决于其补给来源和补给高程（表 4－23），表中地表水中 $\delta^{18}O$ 及 δD 随汇水区的标高降低而升高，在 $\delta^{18}O$—δD 图中地表水点均落到降水线以下，为蒸发作用所造成。

表4－22　不同高程的大气降水中的同位素组成表

编　号	水样类型	平均补给高程（m）	$\delta^{18}O$（‰）	δD（‰）	采样日期（年、月）
10	雨　水	900	－8.73	－54.96	1987.5～1988.4
7	泉　水	1042	－9.48	－65.80	1988.9
4	窖　水	1080	－9.82	－63.80	1987.8
9	泉　水	1102	－9.84	－66.20	1988.9
6	窖　水	1351	－10.63	－89.20	1987.8

表 4－23　地表水的同位素组成表

采 样 位 置	汇水区标高（m）	$\delta^{18}O$（‰）	δD（‰）	^{3}H（TU）	采样日期（年）
漳泽水库	940～1100	－4.76	－43.0	42	1988
文王山浊漳河上断面	900～1100	－4.67	－43.8	38	1987～1988
后湾水库	1000～1100	－4.76	－44.8	46	1987
左权清漳河下断面	1300～1500	－4.84	－60.2	48	1990
和顺断面	1400～1600	－8.27	－62.8	50	1990

（3）大气降水、地表水、岩溶水的动态特征。从图 4－4 及图 4－5 中可见，大气降水中同位素具明显的季节效应，用降水量加权平均后 $\delta^{18}O$ 为 －8.27‰、δD 为 －53.8‰，^{3}H 为 33TU；地表水的动态变化稍滞后于大气降水；岩溶水中 $\delta^{18}O$ 值动态稳定，季节变化很小，这主要是包气带的弥散、降水的选择入渗以及新老地下水的混合作用造成。^{3}H 的动态变化较 $\delta^{18}O$ 大，这主要是新老地下水的混合比例不同造成。大气降水中 ^{3}H 一年内有两个峰值，但岩溶水仅有一个峰值，对应于大气降水的前一个峰值，表明 6～9 月间是降雨补给岩溶水的主要时期，而 3～4 月间没产生大量补给，分析认为区内连续降水量小于 10mm 者一般不能形成对岩溶水的有效补给。

2．用同位素资料研究工作区水文地质条件

（1）分析岩溶水的补给及径流条件。在图 4－6 及图 4－7 中，可以大体圈出 3 个区。其中，第一区有较高的 δD 值（在 $\delta^{18}O$—δD 图中居于右上方），岩溶水 $\delta^{18}O$ 中值为

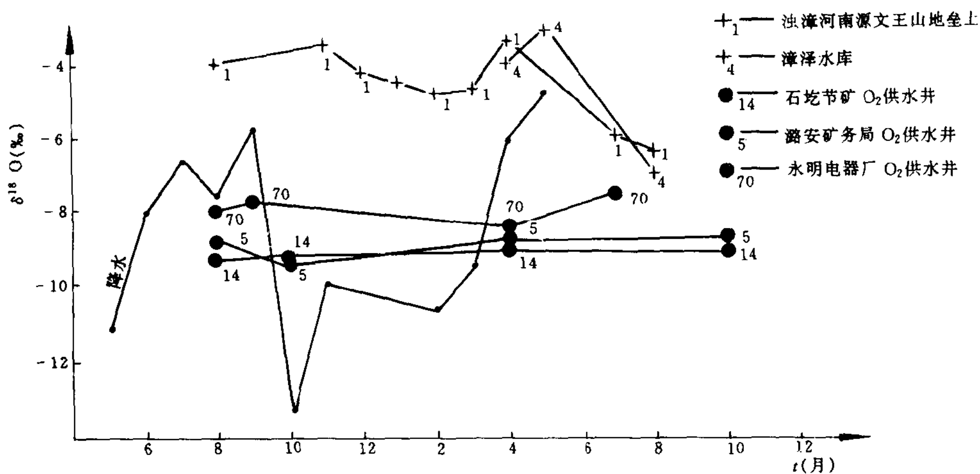


图4－4 降水、地表水、岩溶水 $\delta^{18}O$ 值动态曲线图

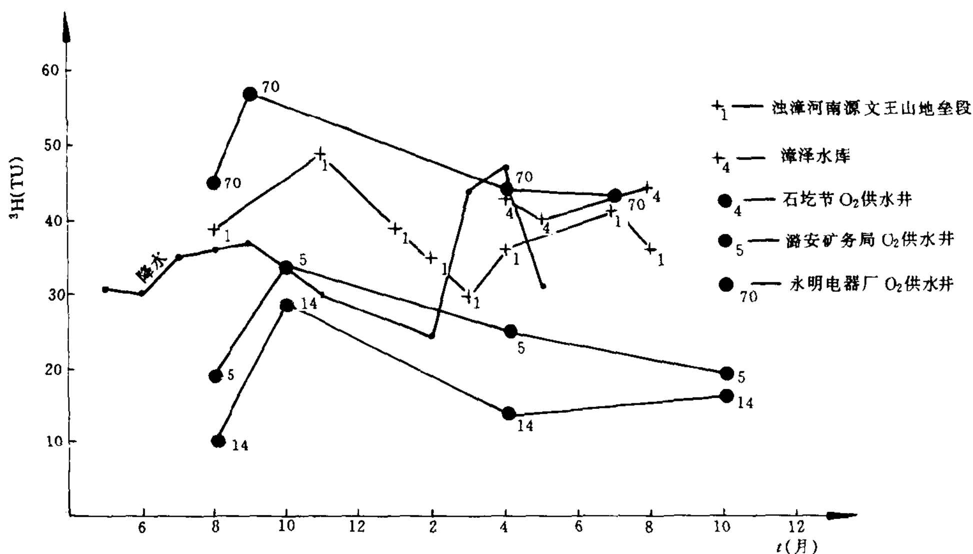


图4－5 降水、地表水、岩溶水 ^3H 值动态曲线图

－8.75‰～－9.5‰，^3H 值为 8～30TU，^3H 上限与降水的 ^3H 值接近。一区水点多位于灰岩浅埋区，接受灰岩裸露区补给，综合分析认为这些地段地下水交替条件好、补给区高程较低，且接受部分地表水的渗漏补给。第三区 $\delta^{18}O$、δD 值均较低，$\delta^{18}O$ 为 －10.0～－11.3‰，^3H 值为 0～7TU，是较古老的地下水，综合分析认为，这些地段灰岩埋藏深，循环条件差，补给区较远，且高程高，径流比较滞缓。第二区介于一区和三区之间，地下水的径流条件较三区好，较一区差，二区中有一些水点的水来自一区径流流入。

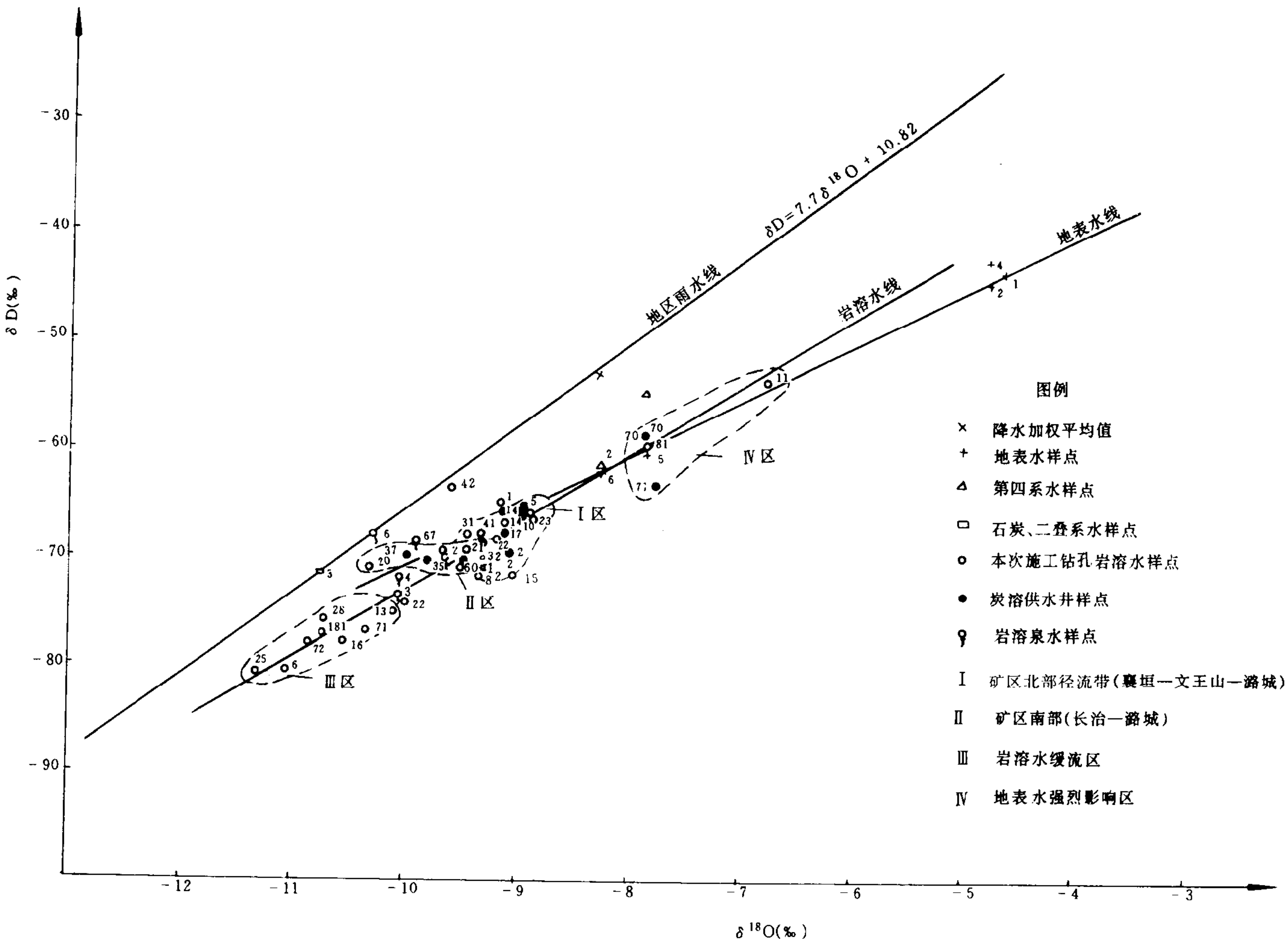


图4-6 各类型水$\delta D-\delta^{18}O$关系图

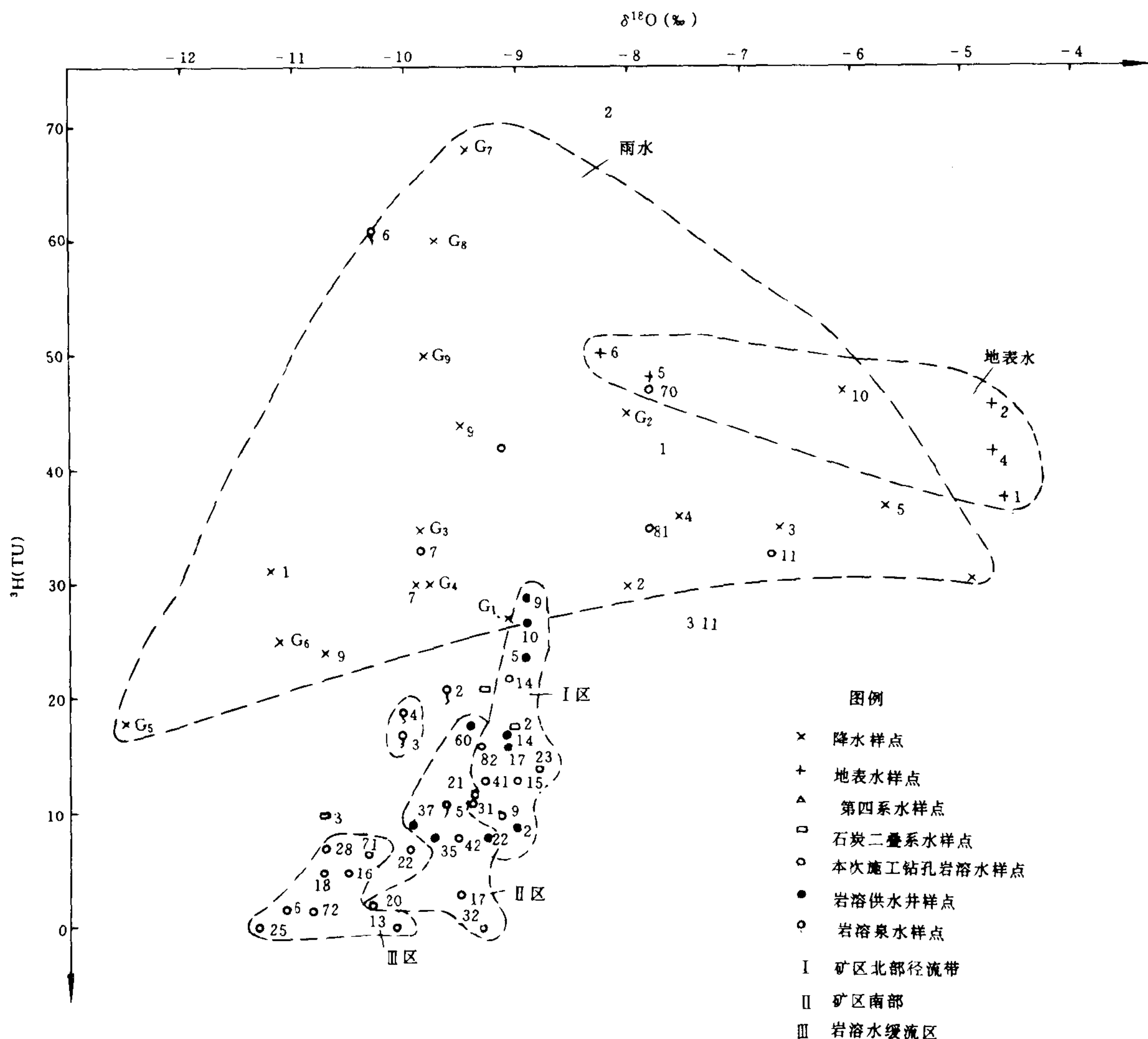


图4-7　各类型水^{3}H—δ^{18}O 关系散点线

本区地表水及岩溶水点均位于本区雨水线下方，表明在它们的形成过程中普遍遭受蒸发作用，但岩溶地下水遭受的蒸发作用要小于地表水。

本区 δ^{18}O、δD、^{3}H 的平面分布趋势如图 4-8、图 4-9 及图 4-10，结合其它有关资料分析以下问题：

①平面上径流条件的变化。矿区北东部地区，δ^{18}O、δD、^{3}H 值均高，^{3}H 值在 12TU 以上，河道渗漏段 28～35TU，分析表明，该地段岩溶水交替较强烈，径流条件好；二岗山以南地区，δ^{18}O、δD 值较矿区东北低，^{3}H 值 8～12TU，变幅较大，分析认为，岩溶水主要接受壶关以南的山区降水补给，径流条件相对较矿区北东部差；安昌地堑与二岗山南断

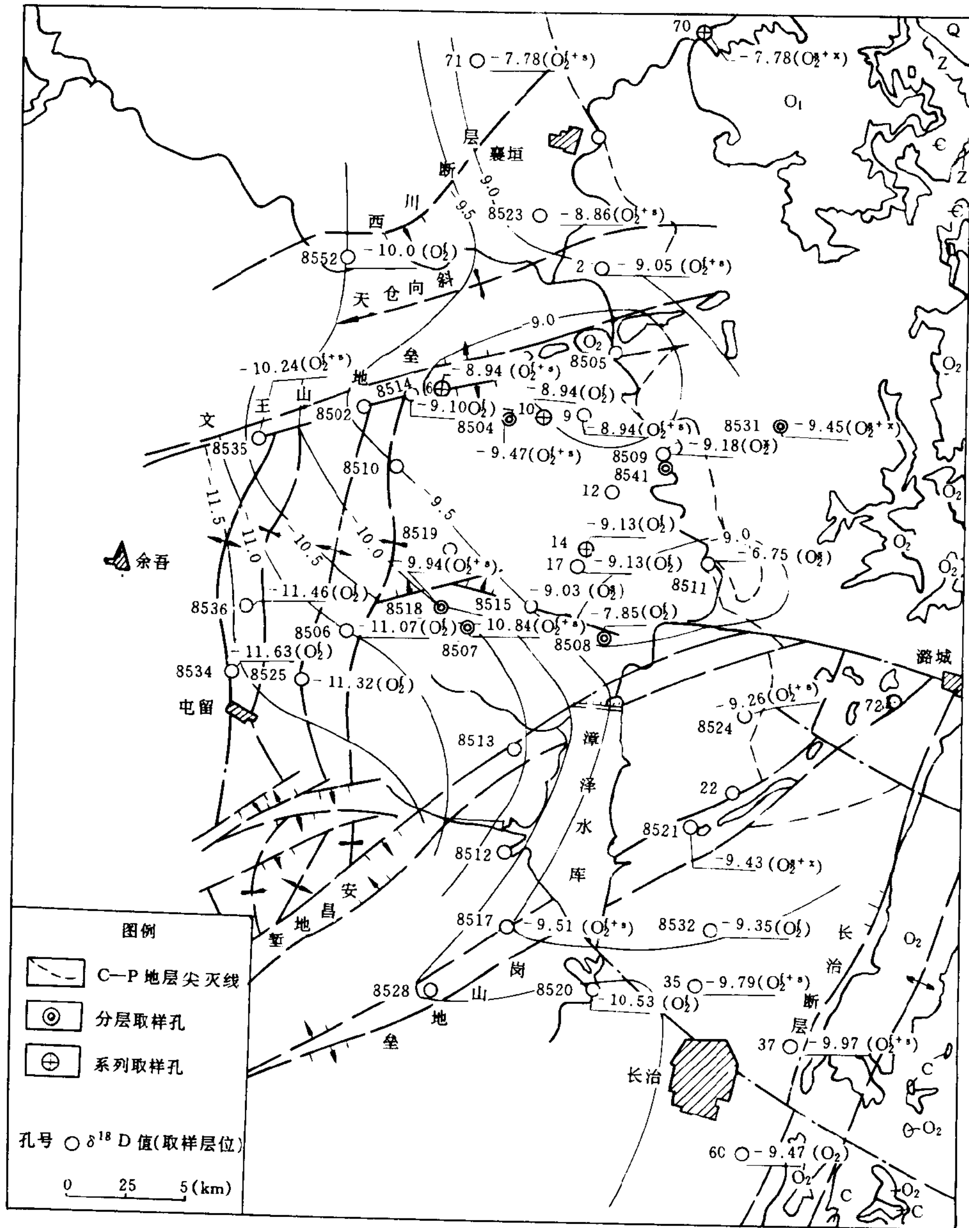


图4-8 岩溶水 $\delta^{18}O$ 等值线图

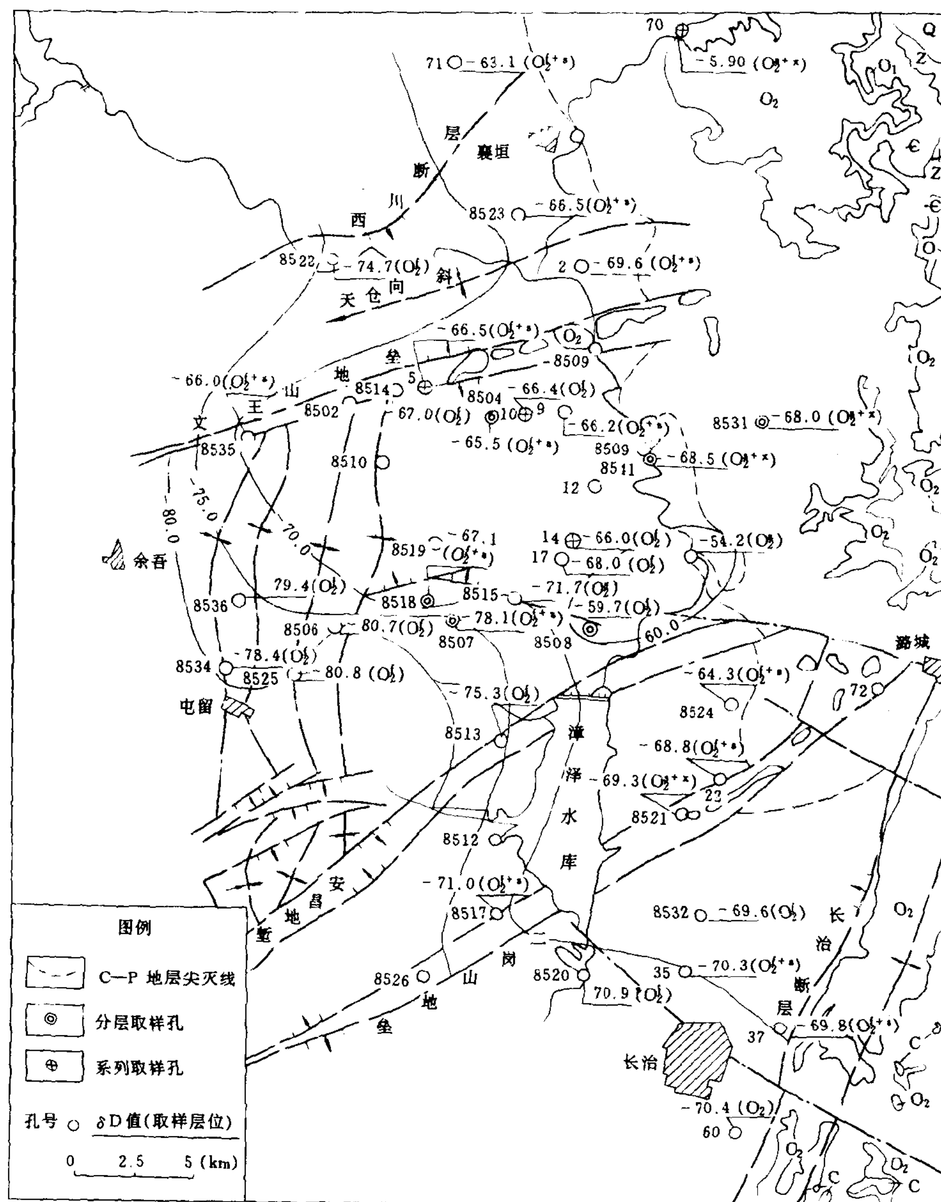


图 4-9 岩溶水 δD 等值线图

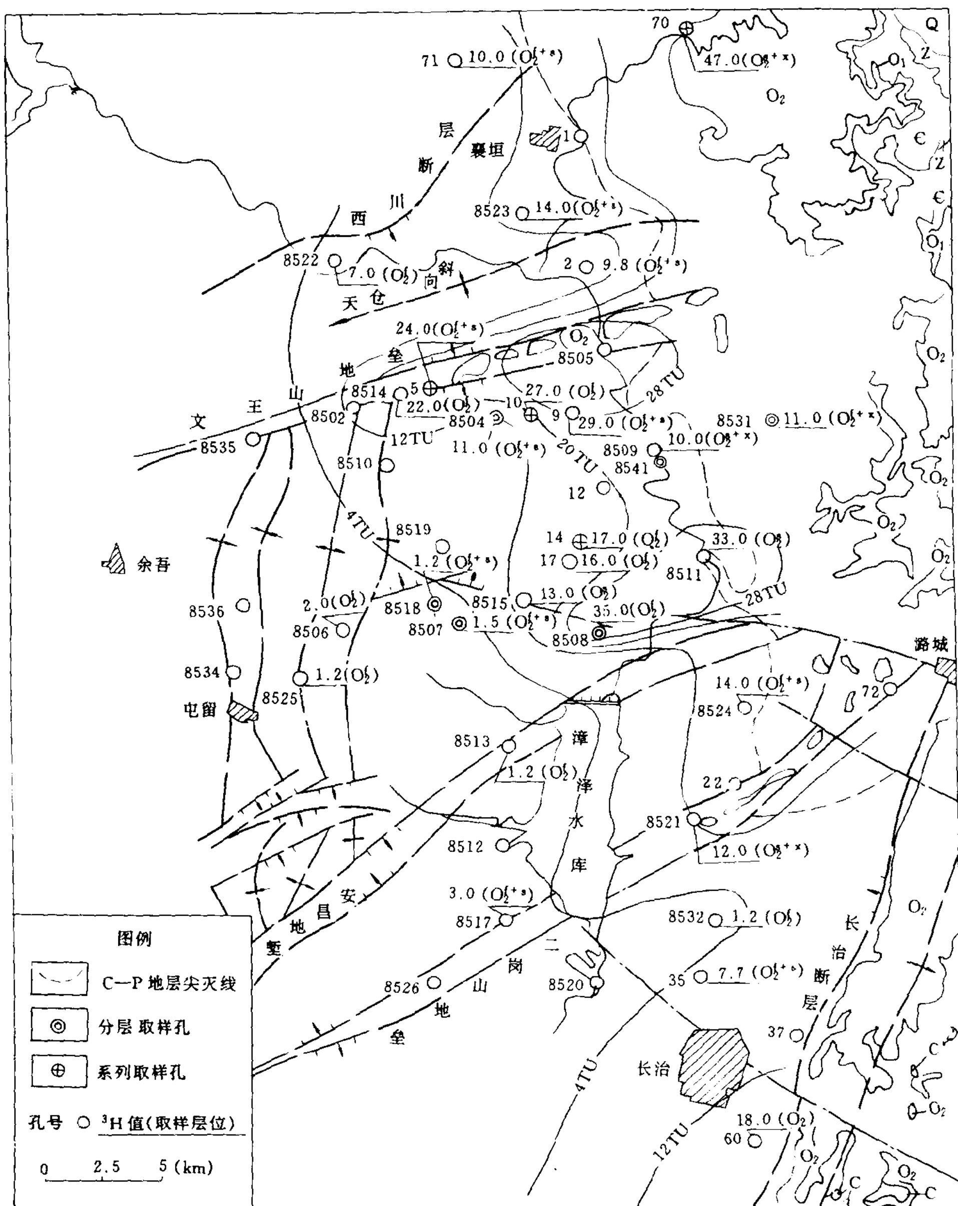


图4－10 岩溶水 ^{3}H 等值线图

层之间的地带，同位素特征介于以上二地段之间，此地段既有来自北部的地下水，又有来自南部的地下水，是混合作用所造成；矿区西南部，$\delta^{18}O$、δD、^{3}H 均为全区最低者，$^{3}H \leqslant 2TU$。该区段大面积被石炭二叠系覆盖，资料表明，该地段远离补给区，地下水交替条件差、径流滞缓。

②剖面上径流条件的变化状况。从测试资料看，奥陶系灰岩上部层段中的同位素一般较下部为高(表 4－24)，说明本区岩溶水的补给主要来自上部，来自大气降水和地表水体。

表 4－24　奥陶系灰岩不同层段中同位素含量表

序号	孔　号	层　位	$\delta^{18}O$（‰）	δD（‰）	^{3}H（TU）	采样日期（年、月）
1	8518 (8518—1)	O_2^f O_2^{f+s}	-10.77 -9.97	-75.7 -67.1	4±1 <2	1988.8 1992.7
2	8507	O_2^f O_2^{f+s}	-10.36 -10.84	-77.0 -78.1	6.6±1 1.5±1	1987.6 1987.8
3	8504	O_2^f O_2^s	-9.32 -9.53	-68.1 -63.6	13±1 8±1	1989.8 1989.8
4	8508	O_2^f O_2^{s+x}	-7.85 -9.36	-59.9 -71.8	35±2 16±1	1987.9 1987.9
5	8541	O_2^x O_2^{s+x}	-9.06 -9.61	-62.5 -69.6	19±3 16±3	1991.12 1991.12
6	8531	O_2^{s+x} O_1	-9.45 -9.56	-60.0 -71.8	11±1 9±1	1989.11 1990.4

表4－25　岩溶水各泉点同位素分析表

编　号	采样点	$\delta^{18}O$（‰）	δD（‰）	^{3}H（TU）	采样时间（年、月）	备　注
泉 1	西　流	-9.17	-65.1	42	1987.8～1988.6	平均值
泉 2	王　曲	-9.67	-69.6	21	1987.8～1988.9	平均值
泉 3	南　流	-10.06	-73.6	17	1987.8～1988.6	平均值
泉 4	南流东南	-10.06	-71.8	19	1988	6月、9月平均值
泉 5	实　会	-9.67	-69.9	11	1988.6	
泉 7	北耽车	-9.89	-68.6	33	1980.10	

③岩溶泉水的同位素组成特征及泉域子系统的划分。辛安泉域的排泄区在东部河谷之中，以泉群的方式排泄，泉群分布在约 16km 长的浊漳河河床上，这些泉点的水是不是同一个来源，是否分属于不同的子泉域，这是研究本区水文地质条件的一个重要问题。同位素分析结果（表 4－25），说明各主要泉点的同位素组成存在着明显的差异，反映出它们不同的补给源和不同的水交替和径流条件。西流泉 $\delta^{18}O$、δD、^{3}H 值最高，反映出补给区高程低、水交替强，以大气降水和河道渗漏补给为主，径流途径短的特点。南流泉 $\delta^{18}O$、δD 值是泉点中最低的，^{3}H 较西流泉低一倍，其补给区高程相对较高，水交替条件较差，泉水主要来自矿区南部和北部。实会泉的 $\delta^{18}O$、δD 值也低，^{3}H 仅 11TU，径流条件较差。北耽车泉 $\delta^{18}O$、δD 也很低，反映了补给区高程较高，但其 ^{3}H 与降水相近，该泉应以东部灰岩裸露区的大气降水补给为主，径流途径不长。根据同位素及水化学资料以及水文地质

条件分析泉域可以划分为 4 个子系统，如图 4－11 所示。西流、王曲、南流三泉的同位素动态变化，如图 4－12 及图 4－13、图 4－14 所示，各泉点 $\delta^{18}O$ 动态稳定，但 ^{3}H 随降水的 ^{3}H 值的变化而波动，只是变幅明显降低，其中，王曲与西流受降水影响明显，也反映出就近接受大气降水补给，短途排泄的特点，而南流泉同位素值稳定，反映出远途补给和径流调节能力强的特点。

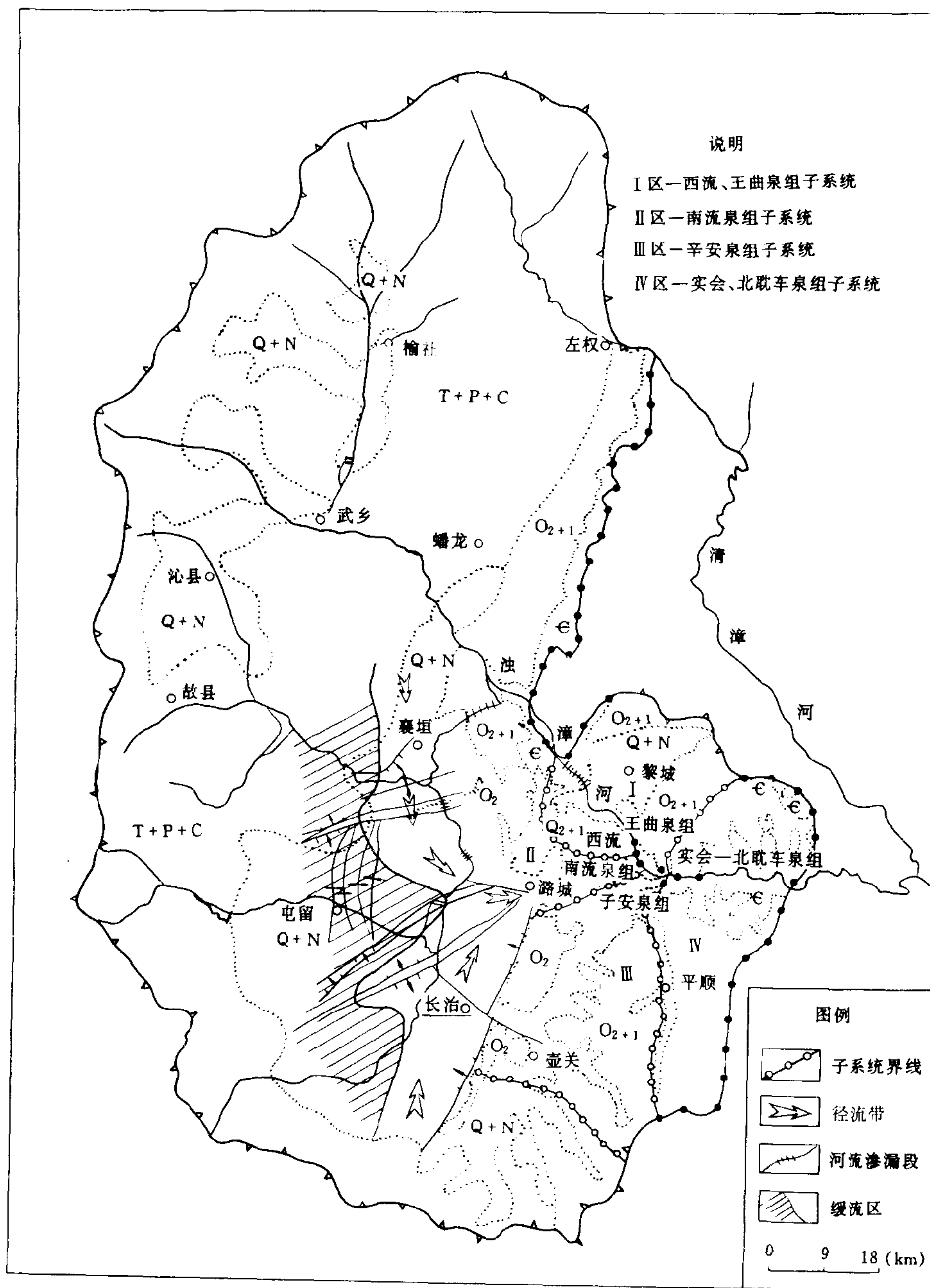
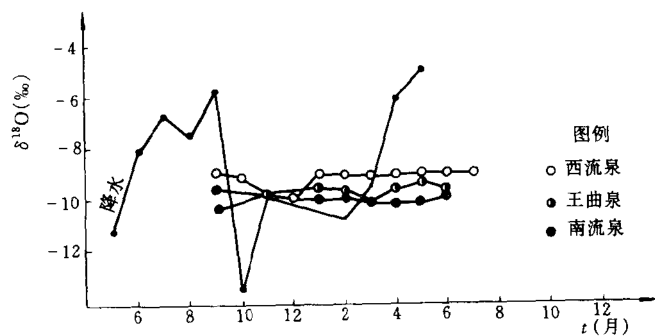


图 4－11 辛安泉域水文地质条件分析图



4-12 泉水$\delta^{18}O$值动态曲线图

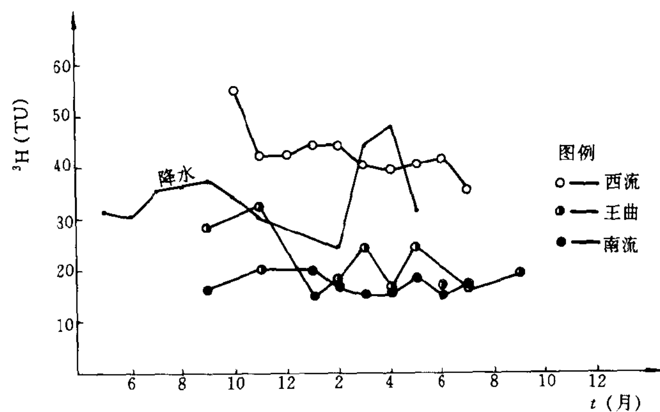


图4-13 泉水^3H值动态曲线图

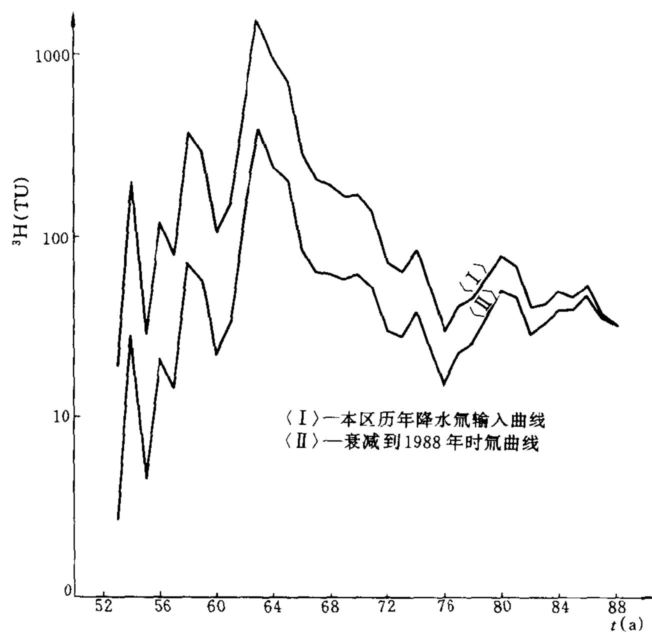


图4-14 本区历年降水氚输入及衰减曲线图

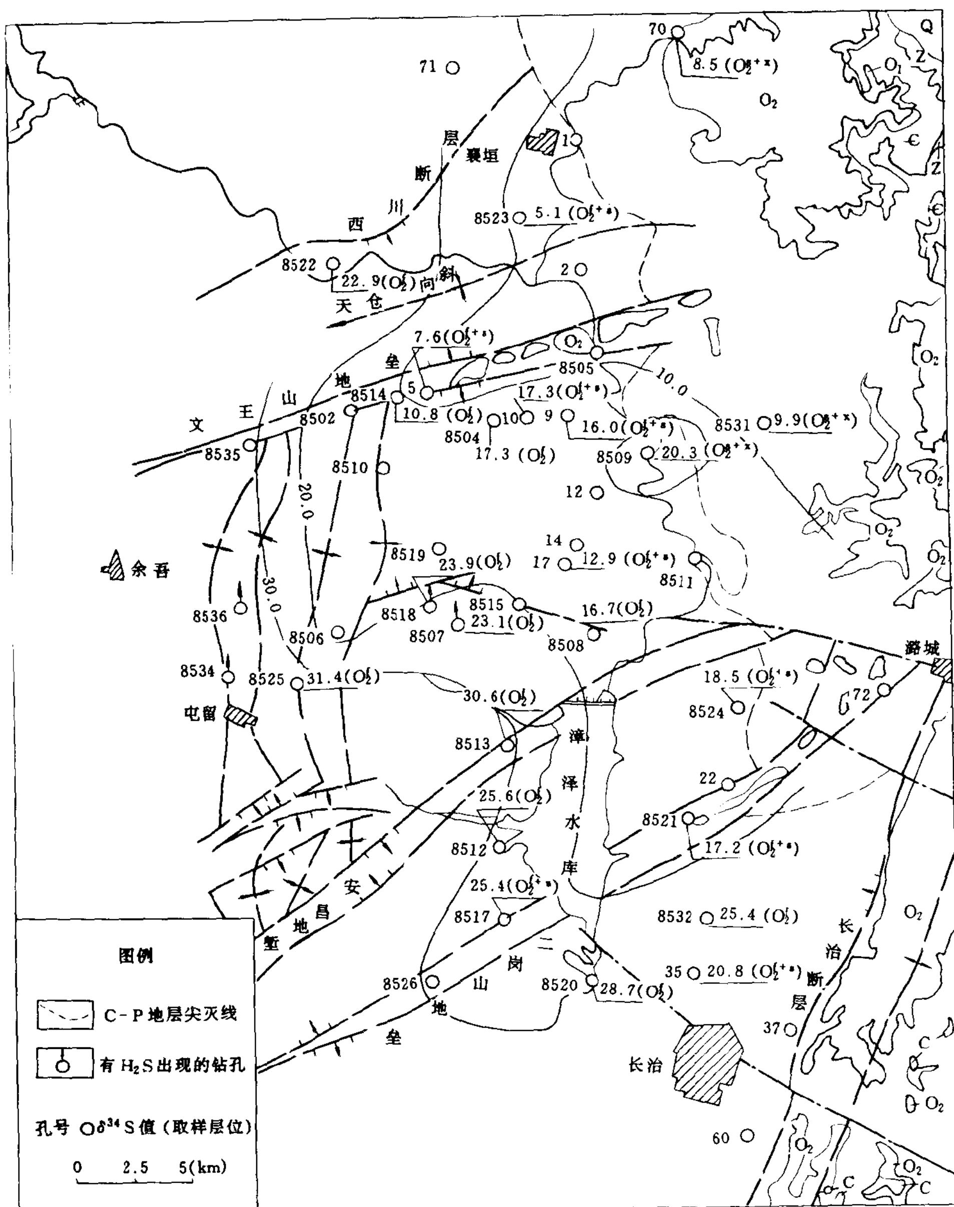


图 4－15 岩溶水 $\delta^{34}S$ 等值线图

在对区内 $\delta^{18}O$、δD 和 ^3H 分析的同时，还作了 $\delta^{34}S$ 的分析，其等值线图（图 4－15）也大体可以分为三个区。因为大气降水、地表水及黄铁矿的氧化产物中 $\delta^{34}S$ 值均较低，区内的 ^{34}S 主要来自于石膏层的溶解，$S^{34}S$ 值高者，通常矿化度也高，径流条件也差。矿区东北部 $\delta^{34}S$ 仅 5.1‰～17.3‰，反映了较好的径流条件，矿区的西南 $\delta^{34}S$ 为 18.5‰～31.4‰，径流很差。用 $\delta^{34}S$ 资料的分件结果和 ^3H、$\delta^{18}O$ 及 δD 资料十分吻合。

以上的分析主要是粗线条的，在详细研究中会发现在同一分区中，地下水的年龄、径流强度也会有明显的不同，可以作进一步研究。

(2) 地下水年龄计算。首先研究了本区历年降水氚输入曲线及衰减线图，如图 4－13所示，使用氚法，利用活塞模型计算了不同区段地下水的年龄，认为矿区东北部岩溶水应为 1976 年后补给的，年龄小于 12 年；矿区南部 8532 号孔以南岩溶水是 1952 年以来补给的，年龄小于 36 年，8532 号孔以北地下水补给早于 1952 年，年龄大于 36 年；各泉点泉水的平均滞留时间，见表 4－26。根据泉流量和地下水的平均滞留时间，计算了泉域的天然储存量和岩溶含水层的有效空隙度；利用同位素资料计算了矿区岩溶地下水的实际流速，岩溶地下水的天然资源量，大气降水和地表水的补给比例，并确定了矿区主要的岩溶水径流带，地下水的补给来源等，深化了对矿区供水水文地质条件的认识。

表 4－26　岩溶水各泉点平均滞留时间表

泉水 / 项目	西流	王曲	南流	南流东南	实会	北耽车	泉群
^3H (TU)	42	21	17	19	11	33	22（用流量加权算得）
τm (a)	25	85	107	95	180	42	84

实例 2　同位素方法在邢台煤矿矿井放水试验中的应用（据煤炭科学院西安分院段玉成等）

邢台煤矿是一个现代化矿井，设计能力 180 万/a，下组煤储量占 60% 以上，但是受大青灰岩及奥陶系灰岩水的威胁，尚不能开采。为查明大青灰岩及奥灰岩水文地质条件，给开采下组煤提供防治水依据，在井下作了一次放水试验，放水试验的前后采取了环境同位素水样，分析了 ^{18}O、氘、氚等项目，取得了较好的效果。

井田含煤地层为石炭二叠纪煤系，上覆松散层厚度 100～250m。根据井田水文地质条件，可划分为西单元、中单元和东单元等三个单元（图 4－16）。

在放水前，奥灰水氚含量平均达 27.3TU；大青灰岩水中氚值为 15.5～31.1TU，其中，西单元氚含量小于 20TU，中单元和东单元氚值可达 30TU。氚值测量结果表明，奥灰水及中单元、东单元的大青灰岩水径流条件较好，接受大气降水补给条件较好，而西单元中，大青灰岩水径流较弱，接受大气降水补给条件较差。结合井田水文地质条件分析，中单元、东单元的大青灰岩水与奥灰水之间的水力联系也较密切。根据同位素氚计算，奥灰水年龄约为 4 年，西单元 DF_2 孔大青水的年龄在 15 年以上，应是 70 年代大气降水补给的，中单元 DF_5 孔为 80 年代后期补给的大气降水。

放水后，各孔氚值降低，西单元 DF_2 孔（放水孔）大青灰岩水样年龄为 18 年，较放水前增加了 3 年；中单元 DF_4、DG_{15} 孔水体年龄均增加了 7 年。氚值降低的同时，$\delta^{18}O$ 也有减少趋势，但 δD 值却有所增加（表 4－27），说明了在放水试验中，水除了来自各单元中径流较强地段外，还消耗了一部分地下水的储存量；还有一部分来自径流相对较弱的地段；此外，在放水试验的同时，井田内各含水层间有较多的水力联系，除了奥灰与大青灰岩间的水力联系以外，还有煤系含水层、冲积层底部水都有可能成为放水的补给水源。

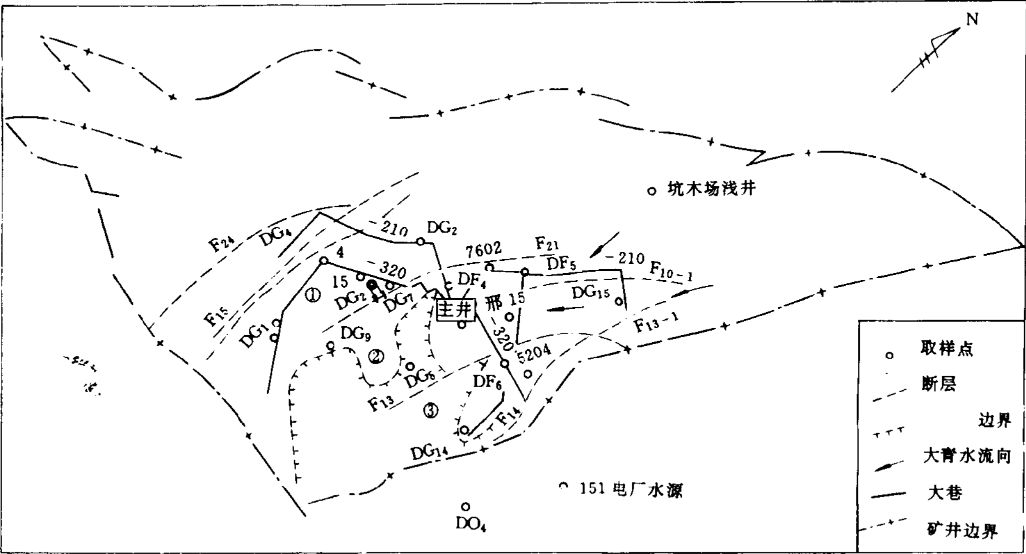


图 4-16 邢台煤矿水文地质单元及放水试验中大青水流向图

①－西单元；②－中单元；③－东单元

表 4-27 放水前后大青水氚值、年龄统计表

取样孔号	放水前 T (TU)	放水前 年龄 (a)	放水后 T (TU)	放水后 年龄 (a)
DF2	15.5	15	12.8	18
DF4	28.6	4	18.8	11
DF5	31.1	2	24.6	6
DF6	29.6	3	—	—
DG15	30.7	2	21.6	9

通过放水试验，在矿井水文地质条件分析的基础上，利用同位素测定资料，还对井田的水文地质边界进行了分析，认为井田地下水的补给主要来自北部。

第五章　煤矿顶板水害的研究与防治

中国有许多煤矿存在着顶板水的威胁。有些矿井遭顶板淹没或部分淹没；有些矿井则长期以顶板水为患；还有些矿井为了预防顶顶板水不得不放弃大量煤炭资源留作防水煤柱；更有些煤田因顶板水问题而不敢开发。因此，顶板水害问题是在煤炭工业发展上和煤田水文地质上亟待研究解决的重要问题之一。

第一节　煤矿顶板水害概述

一、位于地表水体以下的煤田

这类煤田全国各地都有，尤以东部较多。它们有的位于海下，有的位于湖下，有的位于江河之下，至于小型地表水流或水库之下的煤层几乎每个煤田中都有。

山东黄县煤田是早第三纪褐煤田，它的北部和西部埋藏较浅（图 5－1)，但因位于渤海海水之下，煤层露头直接与海底接触，勘探与开发均不易。

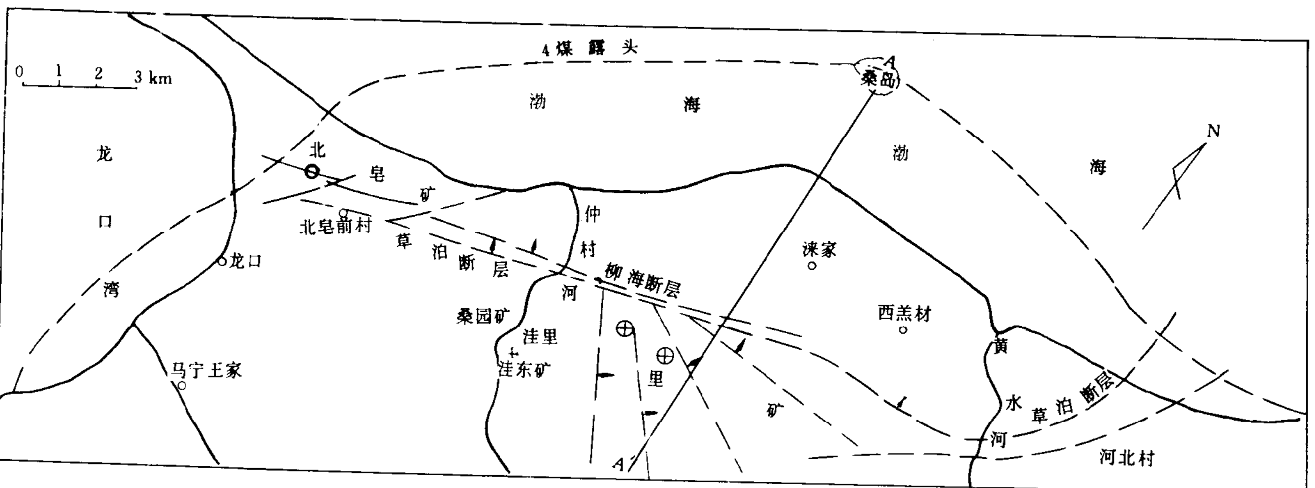
鲁西南、苏西北的微山湖、昭阳湖，济宁煤田的南阳湖、马场湖，苏南的太湖以及内蒙古北部的呼伦湖下都有煤层赋存；流程万里的长江和黄河在流经各省时都穿越了不少煤田，其水下的煤炭资源亦属可观。所有上述这些大型地表水体下的煤层，目前都未能开发。

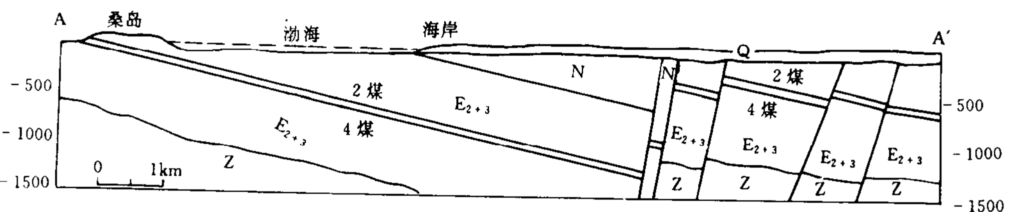
在我国普遍分布的小型地表水流下的煤层，则开采较多。其中，大多数作到了安全开采，取得了成功经验；但也有少数煤矿因生产措施不当或经验不足而发生溃水、溃砂，甚至造成矿井淹没，人员伤亡。例如，吉林的梅河一井，煤层埋藏于大柳河的二级阶地之下，煤田上面普遍覆盖有一层厚度约 10～20m 的第四系含水砂砾层，砂砾层之上又覆盖了 7～20m 厚的黄土层，煤层露头直接与含水砂砾层不整合接触；井田东翼开拓区上方有一储水量约 $96000m^3$ 的小水库，而井下绞车房和平车场就开凿在水库底下，绞车房的顶板距砂砾层底板只有 10m。1977 年 12 月 19 日开凿时，发生冒顶，大量水和泥沙直灌井下，水库中间出现两个直径分别为 55m 和 40m 的塌陷坑。灌入井下的水和泥砂总量为 $56520m^3$。淹没巷道 9130m，死亡 64 人，伤 92 人，淹没设备 283 台，全井停产 23 天，造成巨大损失。

还有一些煤矿虽然安全地进行了河下采煤，但却存在着留煤柱过大、安全措施过多等浪费现象。

二、在巨厚新生界含水层覆盖下的煤田

这类煤田在中国东部分布较广，尤其黄淮平源及三江平原中的所有煤田均被巨厚的新生界含水层所覆盖。位于厚度较薄的河谷砂砾层下的煤层则几乎全国各煤田中都有。





地层 (m)	柱状	岩性
Q 50±		砂质粘土 砂砾
N 156		玄武岩 红粘土 砂质粘土 砂砾层
E_{2+3} 857		泥岩 钙质泥岩 泥灰岩 1煤 2煤 3煤 4煤 粘土岩 泥灰岩 粘土岩 砂岩 砂砾岩
Z		变质岩

图5-1 黄县煤田略图

例如，两淮（淮南、淮北）煤田，石炭二叠纪煤系隐伏于厚度约 100～800m 的新生界（第四系及第三系）松散层之下，煤层露头直接与新生界底部接触（图 5－2）。煤层开采时，为了防止水、砂大量溃入矿井，已往都是将隐煤露头以下、垂深 60～80m 以上的所有煤层留作保安煤柱。但煤层层数很多，倾角比较平缓，留煤柱所损失的煤炭资源非常巨大。如何既能保证生产安全又不能减少资源损失，是一个尚需进一步研究的问题。

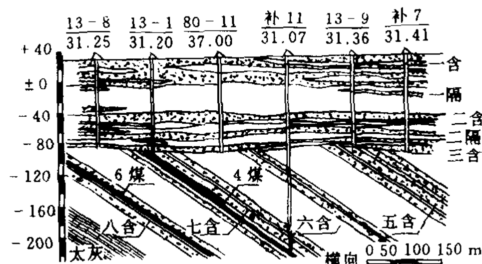


图5－2　刘一矿 13 线倾向剖面图

与此相类似的还有苏北的丰沛煤田、豫东的永夏煤田、山东的鲁西煤田、黑龙江的东荣煤田，以及隐伏于华北平原、松辽平原、三江平原、成都平原之下的所有已知的和未知的煤田。

陕北的榆神府煤田，倾角平缓的早中侏罗世煤层露头之上广泛分布着第三纪含水中细层及第四纪砂砾层，开采浅部煤层时，屡屡发生突水、溃砂事故，甚至淹没大片井巷（如瓷窑湾煤矿 1990 年 4 月突水、溃砂事故），给煤矿生产造成很大危害。

位于山间河谷地带的煤层，其上覆第四系砂砾含水层虽然一般不太厚，但也同样存在上述问题，只是严重程度有所不同而已。

有些第三纪煤田，含煤地层本身就含有多层松散或半松散砂层。煤层开采时，这些砂层中的水和砂往往会沿煤层顶板冒落裂隙溃入矿井。尤其当煤层顶板上面存在含有亲水矿物的粉砂层时（如舒兰煤田），则将会发生流砂冲溃，给矿井造成更大的威胁。

三、煤层顶板上面有岩溶含水层的煤田

这类煤田主要分布于华南、华北地区。

赣中丰城矿区龙潭煤系的 C 煤组煤层顶板上距强烈岩溶化的长兴灰岩仅 3～5m。云庄矿试采 C 煤组时，顶板涌水量高达 6582～19000m^3/h，使试采井迅速淹没。并因排水而引起大范围地面塌陷，危及矿区内村庄、桥梁、公路及其它地面设备的安全。该区煤质虽然优良，储量亦可观，又处于缺煤省区，但由于顶板水的问题，至今仍未能开发。

与丰城矿区同处于一个北东向条带（大致沿武夷古陆北支的西北缘分布）内的安福矿区、杨桥矿区、高安矿区、平乐矿区直至皖南的芜铜矿区、苏南的常州矿区、苏州矿区等，龙潭煤系都发育有 C 煤组（在苏南称为上煤组），上距长兴灰岩也都很近，也都同样受到顶板水的威胁。

在川东南松藻矿区，长兴灰岩下距主采煤层 K_3 的顶板仅 16～39m（图 5－3），距 K_4 及 K_6 则更近。长兴灰岩岩溶、裂隙和暗河异常发育，已知暗河入口至出口之间的直线距

离为 1240m，对该区煤层开采造成严重威胁，使羊义滩背斜以东的大量煤炭资源未敢贸然开发。

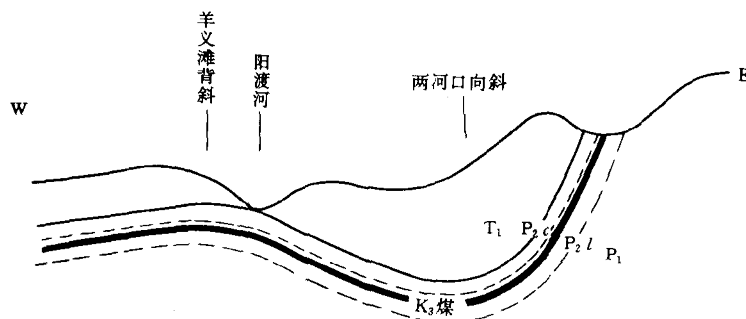


图 5-3 松藻矿区羊义滩剖面示意图

T_1-飞仙关一嘉陵江组；P_2c-长兴灰岩；P_2l-龙潭煤系；P_1-茅口组一栖霞组

与松藻矿区处于同一走向的南桐矿区、古叙矿区及黔西北的桐梓矿区也都同样存在顶板长兴灰岩水的威胁。

华北的太原组、华南的梁山组及吴家坪组（包括广西的合山组、贵州的竹圹组）中的煤层顶板之上都有岩溶化灰岩含水层。也都存在顶板水问题。

粤北曲仁煤田的格顶井田及花坪向斜东翼，龙潭煤系与上覆白垩系砾岩呈不整合接触（图 5-4）。白垩系砾岩由石灰岩巨砾所组成，已强烈岩溶化，含水丰富，给不整合面附近的煤层开采造成严重威胁。与此相类似的情况，在其它许多煤田中也屡见不鲜。

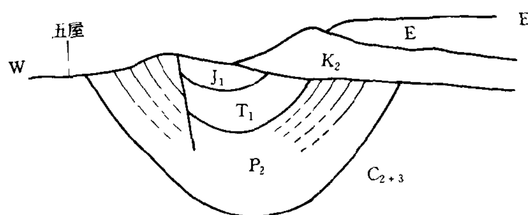


图5-4 曲仁煤田花坪向斜东翼剖面示意图

C_{2+3}-壶天灰岩；P_2-龙潭煤系；T_1-大治灰岩；J_1-金鸡群；

K_2-白垩系砾岩；E-第三系砾岩

还有煤田的煤层顶板以上在正常情况下无主要含水层，但由于断层的推覆作用使本来与煤层不相干的含水层直接置于煤层顶板之上，或由于构造倒转将本来是煤层底板下面的含水层倒过来成为煤层“顶板”上面的含水层。

湘中的碴渡煤田中段，由于金盘龙断层的推覆，使高度岩溶化的壶天灰岩及中等岩溶化的梓门桥灰岩直接与测水煤系的煤层顶板的不同部位相接触（参阅图 1-4）。壶天灰岩与煤层顶板接触处的观音洞泉水流量曾达 $37m^3/s$ （现因其补给源修建水库，泉水流量已

大幅度减小)。迫使将煤层与壶天灰岩直接接触的区段以及煤层与壶天灰岩的间距小于将来煤层开采时顶板冒落导水裂隙带高度的区段内的煤炭储量不作为开平对象; 将煤层与梓门桥灰岩的间距小于冒落导水裂隙带高度的区段作为水文地质勘探的重点对象。

在湘中、川东的某些煤田中可以见到茅口灰岩倒转于龙潭煤系之上的例子;在开滦煤田开采向斜的北西翼也可见到奥陶系灰岩倒转于石炭二叠纪煤系之上的例子。

第二节　煤层开采时顶板岩层的破坏规律

一、煤层开采时顶板岩层破坏的一般过程和特征

煤层未被采动以前,煤层及其顶、底板岩层均处于静力平衡状态。当煤层采动以后,则在被采动之处造成了一个低压自由空间,从而破坏了原来的静力平衡状态,引起了四周压力向此自由空间的顶、底及四壁集中。此时,围绕自由空间的顶、底及四壁将形成相应的压力拱,以反抗四周来的压力(图 5-5)。当自由空间不大(如巷道、切眼、未冒顶前的采煤工作面)时,则四周来的压力能被压力拱所平衡,拱内的岩体则依赖岩体本身的连结力(强度)而保持稳定(对于底板,则底板岩层本身的重力也是一个保持稳定的因素)。随着采煤工作面的推进,自由空间——采空区不断扩大,顶板上面压力拱的跨度亦随之扩大,当扩大到某一限度,使采空区顶板压力拱内的岩体重量是以破坏该岩体在该跨度之下的连结力(主要为岩体抗张强度及抗剪强度)时,在没有支撑或充填的情况下,顶板压力拱内的岩体就开始由下而上地向下冒落。压力拱以外的岩体则仍保持稳定。当采空区进一步扩大,压力拱的曲率已不能满足拱外压力的平衡的平衡条件时,则压力拱将被破坏,上覆岩层也将向下冒落(图 5-6)。如上覆岩层不厚时,可导致地表塌陷。

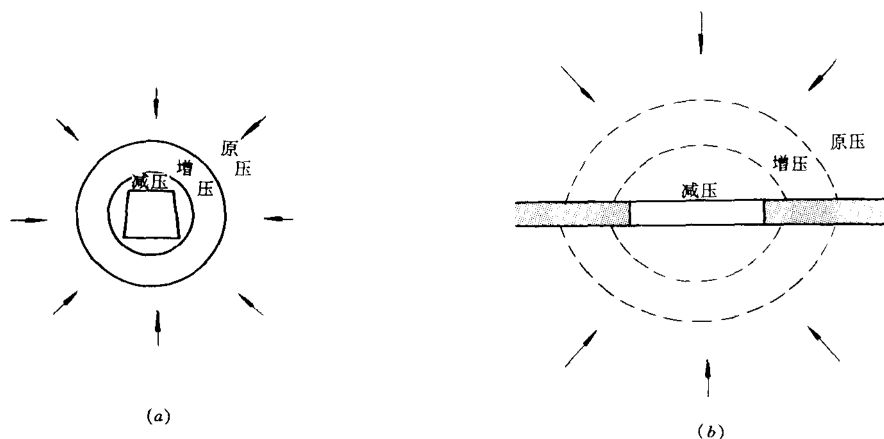


图5-5　煤层采动后形成的压力拱

由于冒落下来的岩石杂乱无章地堆积,其体积必然较原来的体积为大。冒落下来的岩石体积与其原岩体积的比,称为“碎胀系数”,常以 K 表之。当冒落下来的岩石体积满足下式时

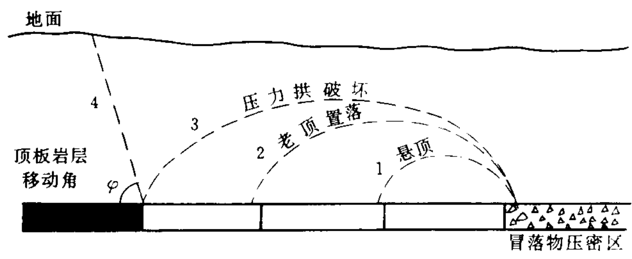


图5－6　采空区顶板破坏过程

$$Kh\cos\alpha = M + h\cos\alpha \qquad (5-1)$$

式中　K——碎胀系数；

h——冒落高度（m）；

M——煤层采厚（m）；

α——煤层倾角（°）。

则上覆岩层因受到已冒落岩块的支撑而停止冒落。此时的 h 值称为冒落带高度。

冒落带以上的岩层随着其下面的冒落岩块的逐渐被压密而随之向下移动。当其移动量足以使岩层破裂时，则会发生一系列的垂直于层面的断开裂隙及层与层之间的离层裂隙。这断开裂隙与离层裂隙纵横交错，组成彼此贯通的导水裂隙带。

愈往上则向下移动的量愈小，当下移量小到在岩层的弹、塑性变形的范围之内，则岩层只产生弯曲和下沉，而不产生彼此贯通的导水裂隙，从此以上称为弯沉带（或称为整体移动带）。弯沉带能一直发展到地表，并出现碟形沉降凹地。其周边往往产生平行于采区边界的向上张口的裂隙（图5－7）。但这些裂隙的深度一般不大，在地表下几米至十几米未即闭合，与下面的导水裂隙带并不连通。但当开采深度很浅，导水裂隙带甚至冒落带发展到地表时，则地表将出现与采区贯通的导水裂隙，甚至出现塌陷坑或塌陷漏斗。

冒落带、导水裂隙带及弯沉带，在习惯上称为三带（图5－8）。

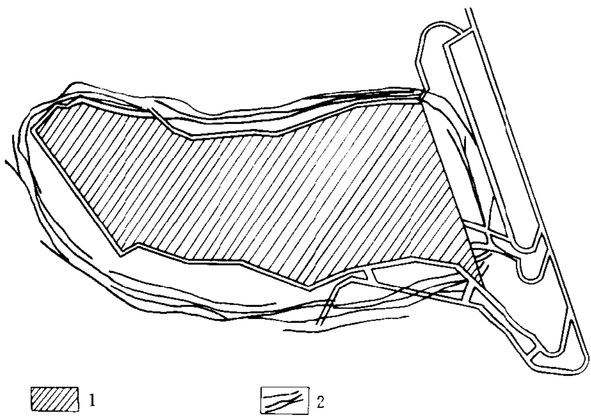


图5－7　枣庄柴里煤矿301工作面地表裂缝塌陷平面图

1－采空区；2－地表张裂隙

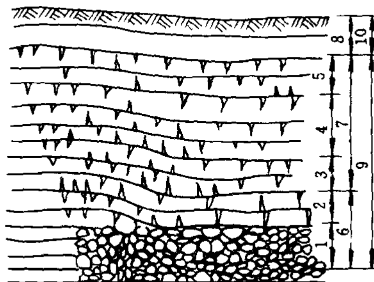


图 5－8　顶板破坏分带示意图

1－不规则冒落；2－规则冒落；3－严重断裂；4－一般开裂；5－微小开裂；6－冒落带；7－裂隙带；8－弯曲带或整体移动带；　9－破坏性影响区；10－非破坏性影响区

当采煤工作面的后方的冒落带已充分形成，并开始承受上覆岩层的压力时，它又与前方正在推进的工作面煤壁共同组成新的压力拱的两边支座，以承受尚未冒落或尚未充分冒落区的上覆岩层的压力。随着采煤工作面的不断推进，旧的压力拱不断被破坏，新的压力拱不断组成并向前推移和扩大。后方的冒落面及其以上的三带亦不断跟着前进。每当旧的压力拱遭到破坏，新的压力拱即将形成时，就出现一次周期来压。

在采区边界煤柱的上方，顶板岩层的冒落也如地面边坡坍塌一样，具有一定的坡角、称为冒落角。在缓倾斜采区及水平采区，沿冒落角滑下的岩块必然要向采区中心方向略有位移，其上方容易形成比采区中部稍多的空间，使上覆岩层得以继续冒落。故冒落带的最终形状在剖面上呈一边部略高、中部略低的上大下小的马鞍形（图 5－9*a*）。在急倾斜采区，则由冒落岩块能沿采区底板向下滚动和滑动，首先将倾斜下方的采空区填满，使其顶板岩层不能继续冒落；而上方则产生较大空间，使上覆岩层甚至上方边界煤柱及底板（直立采区）继续冒落。故急倾斜采区的冒落带形状在剖面上呈一上大下小的倒鸭蛋形（直立采区）（图 5－9*d*）或不完整的倒鸭蛋形（小于 90°的急倾斜采区）(图 5－9*c*)。

冒落带高的地方，冒落岩块的压缩量亦高，故导水裂隙带的形状亦与冒落带相似，只不过其边缘坡角（称为裂隙角）要比冒落角略小一些（一般小 10°～15°)。

弯沉带的边缘则沿移动角发展。移动角又小于裂隙角 5°～10°（图 5－10)。

以上是采用全部陷落法采煤时顶板岩层破坏的一般过程和情形。如采用全部充填法采煤时，则顶板岩层因受到充填物的支撑，可以不产生或基本不产生冒落带，导水裂隙带的高度也比全部陷落法小得多。如采用条带开采法或房柱开采法时，则顶板岩层可基本不产生破坏。

采用充填法时，顶板岩层的破坏程度取决于充填方法及充填材料的压缩率。一般水砂充填的压缩最小，风力充填的压缩率较大，手工充填的压缩率最大。

条带及房柱法是在顶板为坚硬岩层时采用。其煤柱尺寸及宽高比要足以支撑顶板岩层的全部重重。如煤柱尺寸与宽高比过小时（如刀柱法），则煤柱全被压垮，起不到维护顶板的作用，使顶板岩层的破坏程度与采用陷落法几乎一样。

当顶板岩层为具有塑性的泥岩或页岩时，顶板能随着煤层被采而下沉。在采厚不大的

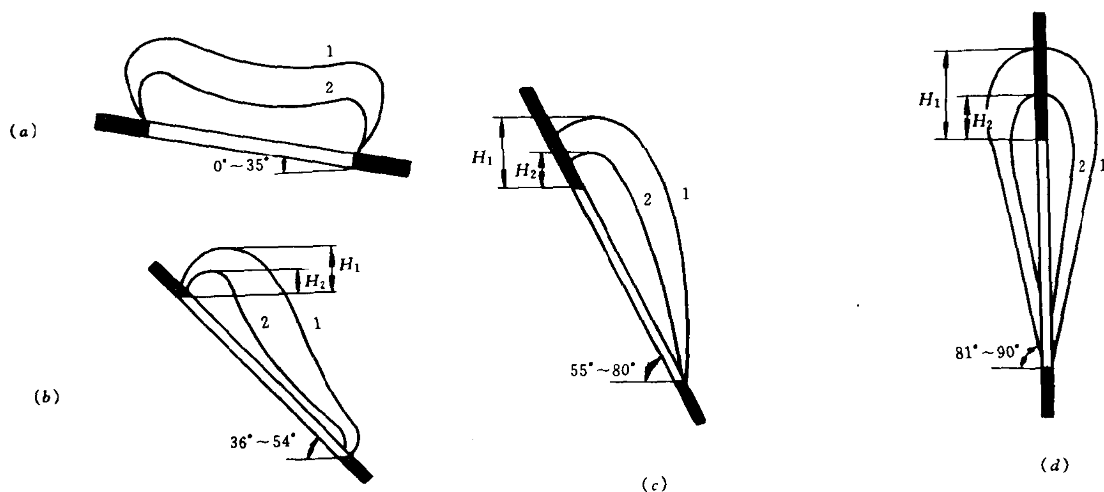


图 5－9　倾斜煤层采空区倾向剖面顶部岩层破坏形态

1－裂隙带；2－冒落带；H_1－裂隙带最大高度；H_2－冒落带最大高度

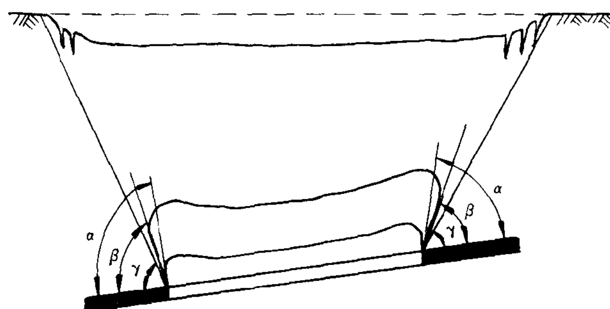


图 5－10　弯沉带边缘移动角发展示意图

α－冒落角；β－裂隙角；γ－移动角

情况下，即使用全部陷落法采煤，也不会产生冒落性破坏。但其上覆岩层仍可产生裂隙带。

二、冒落带、导水裂隙带的最大高度预测

由上述可知，冒落带、导水裂隙带的发生与发展，是受采矿方法、煤层采厚、顶板及其上覆岩层的岩性、剖面结构、构造破坏、煤层倾角等一系列的复杂因素所控制。要想非常准确地预测其高度，是非常困难的，目前还只能作出近似的预测。在这个方面，中国煤炭科学研究院北京开采研究所作了大量的工作，并取得了比较满意的成果。现以该研究所提出的计算方法为主，简介如下。

1. 冒落带最大高度

煤层的采厚是引起顶板冒落的根本原因，也是决定冒落带和裂隙带高度的最主要的因素。

对于不分层开采的缓倾斜的单一的薄煤或中厚煤层以及开采厚煤层的第一分层时，由公式（5－1）可知其冒落带的高度应为

$$H_{冒}=\frac{M}{(K-1)\cos\alpha} \tag{5-2}$$

碎胀系数 K 的大小与煤层采厚及顶板岩性有关。一般认为其数值如下表（表 5－1）。

表 5－1　碎胀系数与煤层采厚及顶板岩性关系

碎胀系数 K / 岩性 / 煤层采厚（m）	软页岩	坚硬页岩砂页岩	砂　岩
>1	1.1～1.2	1.2～1.3	1.3～1.4
1～2	1.2～1.3	1.3～1.4	1.4～1.5
2～3	1.3～1.4	1.4～1.5	1.5～1.6

上表说明：岩性愈坚硬则碎胀系数愈大，因而冒落高度应愈小。但实际情况恰与此相反。这是由于岩性愈坚硬，则愈不易呈碎块冒落，而往往是呈大块整体冒落，其碎胀系数反较软岩为小。故实际冒落高度是随着岩石坚硬程度的增高而增大。这就使上表在实际上难以应用，须根据大量矿井的实际观测资料予以修正。

同时，根据北京煤炭开采研究所的实际观测：除了极坚硬的顶板外，一般在冒落的发展过程中，顶板会不断下沉，这就等于减薄了煤层的采厚，冒落高度亦随之降低。故式（5－2）可改为如下形式

$$H_{冒}=\frac{M-\Delta M}{(K-1)\cos\alpha} \tag{5-3}$$

式中　ΔM 为冒落过程中顶板的下沉量（m）。

这种现象，在顶板岩层愈软弱时愈明显。故软的顶板的冒落带高度一般要比坚硬顶板的冒落带高度为小。

对于缓斜煤层，冒高与采厚之比一般如下表（表 5－2）。

如煤层顶板为极软的塑性泥岩，则 $\Delta M\to M$，故 $H_{冒}\to 0$，基本上不产生冒落带，而只有裂隙带及弯沉带。

表5－2　顶板类型与冒高采厚比关系

顶板类型	冒高采厚比
坚硬的	4～5
中等的	3～4
较弱的	2～3

当分层开采厚煤层时，随着分层层数的增加，顶板的下沉量 ΔM 亦相应地增加，故每采一分层所增加的冒落高度越来越小。根据北京开采研究所的研究：分层开采厚煤层时的总的冒落高度与累计采厚之间呈如下分式函数关系。

$$H_{冒}=\frac{\Sigma M}{aM+b}\quad \text{m} \tag{5-4}$$

式中　a、b 表示与碎胀系数及顶板岩性有关的系数。

对于坚硬顶板（岩石抗压强度为 400～800kg/cm² ）：

$$H_{冒}=\frac{100\Sigma M}{2.1\Sigma M+16}\pm 2.5\text{m} \tag{5-5}$$

对于中硬顶板（岩石抗压强度为 200～400kg/cm²）:

$$H_{冒}=\frac{100\Sigma M}{4.7\Sigma M+19}\pm 2.2\text{m} \tag{5-6}$$

对于软弱顶板（岩石抗压强度为 100～200kg/cm² ）：

$$H_{冒}=\frac{100\Sigma M}{6.2\Sigma M+32}\pm 1.5\text{m} \tag{5-7}$$

对于风化软弱顶板（岩石抗压强度小于 100kg/cm²）:

$$H_{冒}=\frac{100\Sigma M}{7.0\Sigma M+63}\pm 1.2\text{m} \tag{5-8}$$

在多煤层矿区，当上、下煤层的间距小于单一煤层开采的冒落带高度时，　则开采下煤层将会引起上煤层的顶板再次冒落，使冒落高度增加。此时计算上煤层顶板冒落高度，须考虑上、下煤层开采的综合影响。

设有近距离煤层由上而下为 1、2、……n，层间法线距离分别为 h_{1-2}、h_{2-3}、……$h_{(n-1)-n}$。已知冒落带最大高度与采厚之比分别为 Y_1、Y_2……Y_n ，则煤组的综合开采厚度应按下式计算：

$$M_{1-n}=M_1+M_2+\cdots\cdots+M_n-\left(\frac{h_{1-2}}{Y_2}+\frac{h_{2-3}}{Y_3}+\cdots+\frac{h_{(n-1)-n}}{Y_n}\right) \tag{5-9}$$

然后代入前述相应的公式中计算其冒落高度。

2. 导水裂隙带最大高度

开采空间的存在及松散冒落岩块的被压缩，是产生导水裂隙带的根本原因。开采空间越高，冒落带也越高，冒落岩块的压缩量也越多，其上面所产生的导水裂隙带也就随之越高。导水裂隙带的高度也和冒落一样与顶板岩性密切相关。脆性顶板中的导水裂隙带高度要大于塑性顶板中的高度。据煤炭科学院北京开采研究所的研究，导水裂隙带的最大高度可用下式计算：

$$H_{裂}=\frac{M}{cM+d}\quad \text{m} \tag{5-10}$$

式中　c、d 为与顶板岩性有关的系数。

对于坚硬顶板

$$H_{裂}=\frac{100\Sigma M}{1.2\Sigma M+2.0}\pm 8.9\text{m} \tag{5-11}$$

或

$$H_{裂}=30\sqrt{\Sigma M}+10\text{m} \tag{5-12}$$

对于中硬顶板

$$H_{裂}=\frac{100\Sigma M}{1.6\Sigma M+3.6}\pm 5.6\text{m} \tag{5-13}$$

或

$$H_{裂}=20\sqrt{\Sigma M}+10\text{m} \tag{5-14}$$

对于软弱顶板

$$H_{裂}=\frac{100\Sigma M}{3.1\Sigma M+5.0}\pm 4.0\text{m} \tag{5-15}$$

或

$$H_{裂}=10\sqrt{\Sigma M}+5\text{m} \tag{5-16}$$

对于风化软弱顶板

$$H_{裂}=\frac{100\Sigma M}{5.0\Sigma M+8.0}\pm 3.0\text{m} \tag{5-17}$$

上述公式的适用范围，单层厚不超过 3m，累计采厚不超过 15m。

3. 开采急倾角煤层（55°～90°）时的冒落带与导水裂隙带最大高度

开采急倾斜煤层时较之开采缓倾斜煤层具有如下不同特点：

（1）由于煤层倾角大，冒落下来的石块能沿采空区底板向下滚动或滑动，使冒落物首先集中于采空区下边界，呈充填状态；而靠近上边界则呈悬空状态，导致上方进一步冒落。从而使冒落带及裂隙带的形状呈上大下小的不完整椭圆拱形。

（2）采空区沿铅直方向的高度远大于沿煤层法线方向的高度，同时由于冒落岩块向下滚滑的结果，使采煤的阶段垂高在很大程度上起了煤层累计采厚的作用。在计算冒落带及裂隙带高度时成为一个不可忽视的因素。

（3）冒落带及裂隙带不仅破坏顶板岩层，而且波及采区上边界的煤层本身，甚至还影响到底板（当煤层倾角接近 90°时）。如开采方法不当时，还会引起煤层抽冒现象（图 5-11）。北票矿区冠山一坑在距地表深度 330m 开采 3 号煤层时，地表仍然出现塌陷漏斗。

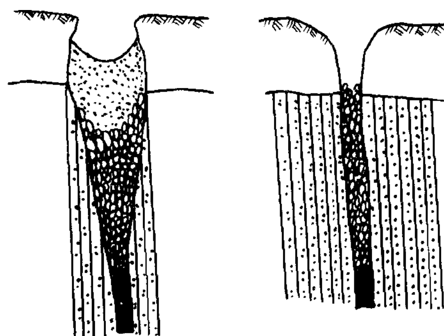


图5-11　北票矿区地表塌陷漏斗坑示意图

当采用水平分层人工假顶下行垮落采煤法或沿走向推进的伪倾斜柔性掩护支架采煤法时，急倾斜煤层顶板导水裂带最大高度表达式为

$$H_{裂}=\frac{hM}{Rh+S}\text{ m} \tag{5-18}$$

式中　h ——回采阶段垂高（m）；

R、S ——与顶板岩性有关的系数。

对于坚硬顶板

$$H_{裂}=\frac{100hM}{4.1h+133}\pm 8.4\text{m} \tag{5-19}$$

对于中硬顶板

$$H_{裂}=\frac{100hM}{7.5h+293}\pm 7.3\text{m} \tag{5-20}$$

至于冒落带的最大高度，根据淮南矿区的实测结果，一般为

$$H_{冒}=0.4\sim 0.5H_{裂} \tag{5-21}$$

必须指出：

(1) 以上各项计算公式都是根据我国北方各煤矿的实际观测资料，通过统计和回归而得出来的。因此，用这些公式来计算我国北方煤矿的冒落带及导水裂隙带的高度，是能基本符合实际的。但我国南方的许多煤矿，煤层顶板往往以硅质岩及碳酸岩为主（如吴家坪组），岩石是坚硬程度远大于北方，用这些公式所计算出的冒落带及导水裂隙带的高度，将远较实际高度为小。因此，应根据南方各煤矿的大量实测资料加以修正，然后才可以用于南方。

(2) 顶板岩性对于冒落带及裂隙带高度的影响，不仅取决于顶板岩石的抗压强度或坚硬程度，同时还取决于顶板岩层的完整程度或裂隙发育程度及其变形的弹、塑性质。同样是抗压强度很高的坚硬岩石顶板，一个是裂隙很少的完整顶板，一个是裂隙很发育的碎裂顶板，二者的冒落带及导水裂隙带高度是显然不同的；同样是抗压强度很低的软岩顶板，一个是塑性泥岩顶板，一个是松散砂岩顶板，二者的冒落带及裂隙带的产生与发展情况也是大不相同的。为了使冒落带及裂隙带的研究更加完善，笔者认为对煤层顶板应作如下分类：①坚硬完整顶板；②中硬完整顶板；③碎裂顶板；④松散顶板；⑤塑性顶板。同时，在应用前述各项计算公式时应分析顶板的具体条件，加以灵活掌握，避免死搬硬套，才能达到满意的效果。

(3) 如何从岩石力学原理建立顶板破坏的理论计算公式（但必须注意便于实用），仍是有待于今后进一步研究的重要课题。

第三节　顶板水害的预测与防治方法

一、顶板水害的预测

由前述可知：凡是位于冒落带及导水裂隙带最大高度以内的含水层或地表水体以及导水裂隙带最大高度能达到其底板的含水层或地表水体，都必将通过导水裂隙带及冒落带直接向矿井充水；反之，当含水层或地表水体的底板至被开采煤层的顶板的最短距离大于导水裂隙带的最大高度，而又无导水断裂或导水陷落柱等导水通道存在时，则该含水层或地表水体中的水将不会直接进入矿井。前者称为直接充水含水层或地表水体，后者则为非充水或间接充水含水层或地表水体。前者须参与矿井涌水量计算，后者则不须参与或只计算其越流量。因此，当预测在某一含水层或地表水体下采煤是否安全时，可用下式来判别：

$$h_{安}\geqslant h_{裂}+h_{保} \tag{5-22}$$

式中　$h_{安}$——安全采煤所需的顶板隔水层厚度（m）；

$h_{裂}$——导水裂隙带的最大高度（m）；

$h_{保}$——导水裂隙带以上的隔水保护层厚度（m）。

$h_{保}$ 的具体数值应视隔水层的性质而定。对于坚硬或半坚硬的基岩隔水层一般为 10～20m；对于塑性粘土层则只须 5～10m 即可。

二、顶板水害的防治方法

当煤层顶板至地表水体或含水层的底板之间的隔水层厚度满足不了式（5-22）的要求，则须根据具体的水文地质条件，因地制宜地采取适应的防、治水措施，才能安全开采。这些措施通常有：

1. 留设防水煤、岩柱

当煤层露头部位或浅部被地表水体、新生界含水层或遮掩断层含水推覆体等所切割或覆盖时，则煤层开采时应在煤层露头部位或浅部留设必要的防水煤、岩柱、防水煤、岩柱的总厚度，视具体的水文地质条件而定。例如：

（1）在基岩裸露地区，当煤层露头部位或浅部被河流切割，且河床下缺乏或基本缺乏第四系沉积物（厚度小于 5m），基岩风化裂隙又比较发育时，防水煤、岩柱的总厚度应满足下式要求：

$$h_{安} \geqslant h_{裂} + h_{保} + h_{风} \tag{5-23}$$

式中　$h_{风}$——风化裂隙带的厚度（m）。

如风化裂隙不发育或风化裂隙带的导水性很小，不会导致河水大量进入矿井时，在防水煤、岩柱的总厚度中亦可不考虑风化裂隙带；但必须考虑煤层开采后地表将会出现的张开裂隙的深度。此时，防水煤、岩柱的总厚度应为

$$h_{安} \geqslant h_{裂} + h_{保} + h_{张} \tag{5-24}$$

式中　$h_{张}$——煤层回采后地表所出现的张开裂隙深度，一般为 10～15m。

（2）当煤层露头部位或浅部被新生界松散含水砂层、砂砾层覆盖时，不论其上有无地表水体，煤层露头部位或浅部均须留设防水煤、岩柱。如基岩风化裂隙带的导水性较强时，应用式（5-23）来计算防水煤、岩柱的总厚度；如基岩风化裂隙带不发育、导水性很弱时，则用式（5-22）来计算防水煤、岩柱的总厚度。

如新生界含水层的底部有较厚的（大于 5m）粘土或砂质粘土层时，则此粘土或砂质粘土层可作为保护层 $h_{保}$，借以阻止其上的地表水或含水砂层、砂砾层中的水大量下渗。并用式（5-22）计算防水煤、岩柱的总厚度。从而使基岩中的煤、岩柱厚度可减小到等于 $h_{裂}$。

如粘土层或砂质粘土层的厚度较大（例如 30m 以上）时，即使位于采动导水裂隙带的高度以内，也不易产生导水裂隙。即使一时产生了，也会很快闭合。即使上面有地表水或水量丰富的含水砂砾层，也不会向采区大量充水。因此，基岩中的煤、岩柱厚度可进一步减小到大于冒落带高度，即可安全开采。

（3）其他如在逆掩断层含水推覆体下、积水老窑下采煤时，均须留设必要的防水煤、岩柱，使采区顶板至含水推覆体的底板或积水老窑的底部之间的隔水层厚度满足式（5-22）的要求。

2. 改变采煤方法

本章前述的冒落带高度、导水裂隙带高度、防水煤、岩柱厚度及其各项计算公式，都

是指采用全部垮落采矿法时的情形。如采用充填采矿法或房柱采矿法，则冒落带可以不产生，导水裂隙带的高度也随之大为降低。这对防止顶板水的下灌是非常有利的。但充填采矿法的成本高，房柱采矿法的效率低、资源损失大，只有在不得已的情况下才采用。例如：

(1) 当顶板含水层距煤层顶板普遍接近，其间的隔水层厚度满足不了式（5－22）的要求；且顶板含水层的水量很大，不易疏干。改用充填法或房柱法就可以降低导水裂隙带的高度，不至触动含水层的底板，从而实现安全开采。

(2) 当煤层露头部位及浅部被地表水体或新生界强含水层所覆盖，煤层倾角又比较平缓，按全部垮落法采煤要求须留设的防水煤、岩柱、损失煤炭资源过大，如改用充填法或房柱法就可以大量缩短煤柱，减少资源损失。

(3）在逆掩断层含水推覆体下或积水老窑下采煤时，为了减少资源损失和确保安全生产，必要时也须采用充填或房柱法开采。

此外，对于厚煤层还可采用分层间歇开采法，以减少冒落带和导水裂隙带的高度，对于急倾斜煤层，则可采用长走向小阶段间歇开采，必要时还采用人工强制放顶的办法，以防止煤柱抽冒；对于那些采取了各种措施，仍然难以完全解除顶板水威胁的煤层，还可以采用先远后近、先深后浅、先简单后复杂、先探后采的试探性开采方法，以及用防水闸门分区隔离的开采方法等。

3. 超前疏干

对于那些距煤层顶板很近而补给量又不很大的含水层，可先进行疏干然后回采。根据含水层的具体条件，可因地制宜地采取如下几种疏干措施：

(1) 地面井群疏干。此种方法适用于含水层埋藏较浅时的情形。常用于露天疏干以及矿井局部地段的疏干或截流。这种疏干方法的特点是疏干井排须随着采煤工作面的前进而不断向前推移或延伸，其疏干效果取决于疏干范围内含水层水位的有效降深能否达到或接近含水层的底板，其残余水头能否给采煤造成危害。这些都要求井排的深度不能过大（即含水层底板深度不宜过大），否则会有工程量过大、费用过高而疏干效果差之虞。

(2) 开凿专门疏干平巷。此法适用于某一固定部位（如露天矿的非工作帮）的疏干或断面截流。如疏干对象是松散砂层，则巷道应开在砂层底板基岩中，然后用直通式过滤器或打入式过滤器疏干巷道顶部的含水砂层。如疏干对象是基岩含水层（例如石灰岩），则疏干巷道可直接开凿在基岩含水层中。在条件允许时还可以利用运输巷道或通风巷道兼作疏干巷道。这种疏干方法的优点在于水位降低大、疏干效果好、管理费用低，一次建成后长期有效，且不受含水层埋藏深度的限制。缺点是一次性投资较大，且不能随着采煤工作面的推进而移动。

(3) 利用采煤准备巷道超前疏干。此法适用于采区工作面的疏干。根据超前疏干时间的需要，提前掘进采煤准备巷道，在工作面前方巷道中打顶板放水钻孔群，先疏干顶板含水层、后进行采煤。随着工作面的推进，疏干巷道和放水钻孔群亦不断超前延伸。这种方法简单易行、效果可靠，费用也较低，故广泛应用于采区顶板含水层及顶板流沙层的疏干。

(4) 多井联合疏干。如顶板含水层分布范围较广，补给水量较大，一井疏干难以奏效，且水量过大难以承受时，可同时开拓几个矿井，进行联合疏干。既可以取得满意的疏

干效果，每个井的排水量又不至于过大。湖南的煤炭坝就是用这种方法来疏干煤层顶板长兴灰岩及底板茅口灰岩，达到安全开采的。

4. 地面防、治水

当煤层露头或浅部直接被地表水体所覆盖，或者地表水是顶板含水层的补给水源时，在条件允许的情况下，进行地面防、治水往往可以收到事半功倍的效果。其主要内容有：

(1) 河流改道。即在地形条件允许的情况下将流经煤层露头部位或浅部的河流改道到煤层露头以外或煤层埋藏深度较大（大于 h安）的地段流过，使其对煤层开采不能为害或者基本无害。但此法只能用于小型河流，对于大型河流则工程过于浩大，不宜采用。

(2) 地面防渗、堵漏。在基岩裸露地区，当河流或山间沟谷局部位于煤层露头或煤层浅部之上，或者与顶板含水层有密切的水力联系时，可先将这些能产生渗露的河段、沟段的河床、沟底加以清理和平整，然后用水泥砂浆、粘土、石块等材料对河床、沟底进行铺砌或堵塞，以防止渗漏和隔断地面水与地下的联系。这种方法对于防止山间沟谷或溪流的渗漏，效果非常显著，但对于大型河流则难以采用。

如煤层顶板为岩溶含水层而且裸露地表时，在地表封堵暗河入口及地形低凹处的开口溶洞、裂隙，以减少地表水及降水的灌人和补给，是减少矿井涌水量有效措施之一。

当开采浅部煤层使地表出现冒落塌陷坑时，应及时予以填堵，以免成为地表水及降水灌入井下的通道。

(3) 排干积水，填平洼地。如在采区导水裂隙带高度范围以内存在地面积水（如池塘、小型水泊、季节性积水洼地等），且其下又无能隔水的塑性粘土层时，应予以排干和填平。但对于那些位于导水裂隙带高度范围以外或其下有隔水粘土层的地面积水，以及采空区上面所出现的弯沉洼地积水，则不必予以排干和填平。因为实践已经证明：前者能沿导水裂隙带及冒落带直接灌入井下，而后者则无甚影响。

5. 注浆堵水

注浆堵水也是防、治水的重要手段之一。只要选用得当，常取得良好的效果。例如：

(1) 当顶板含水层或含水层的某一区段被隔水边界基本包围呈半封闭状态，只有一个或二个宽度不大的缺口与外面联通时，可在这些缺口打密集钻孔排，灌注水泥、水泥砂浆或其他浆液材料，使形成一道地下隔水帷幕，封住缺口，隔断或基本隔断区内与区外的水力联系。区内的含水层便成为“一潭死水”，易于疏干。

(2) 当含水层与煤层顶板之间的相对隔水岩层的厚度已大于安全厚度 h安，在正常情况下对煤层开采无甚影响，但由于存在导水断裂带，使煤层开采时含水层中的水能沿断裂带进入采区。此时可在煤层开采以前从地面打钻孔，对断裂带进行注浆，以防止含水层中的水进入采区。但必须注意，断裂带注浆部位必须是在采区导水裂隙带的顶部与含水层底板之间，高了不起止水作用，低了会被煤层开采后所产生的导水裂隙带或冒落带所破坏而失去其止水作用。

(3) 如注浆堵水的对象是溶洞或大型裂隙时，应首先大量注砂石或其他填料，然后注水泥浆将其胶结起来，以免浆液大量流失，达不到止水目的。

(4) 注浆堵水工作应力争做在井下突水以前，在地下水流速不太大的情况下，浆液不易流失，易于取得成功；一旦井下突水，不仅造成损失很大，而且注浆堵水工作也变得复杂得多。

6. 检查和封闭未封钻孔

在煤田勘探中往往有些钻孔未按规定封孔，或者封孔质量太差，封闭部位不对，未能隔断含水层与煤层的水力联系。煤层开采时，含水层中的水甚至地表水往往通过钻孔突然灌入采区，造成灾害甚至造成死亡事故。这种惨重教训，在全国各煤矿已屡见不鲜。因此，在煤层开采前，应认真查检以前的勘探资料，弄清每个钻孔特别是那些穿过主要含水层的钻孔以及位于低崖地带的钻孔的封闭情况，对于那些未按规定封孔或者没有封好而又能造成突水危险的钻孔，应予以重新封闭。实在无法重封时，也应弄清其见煤处的准确位置，以便采煤时采取预防突水措施。

7. 全盘规划，综合治理

任何一种防、治水方法，都有其一定的适应条件，既有其一定的优点，也有其一定的局限性，都只能在一定的条件下起到一定的作用。要想做好一个煤田、一个矿区、一个矿井以至小到一个采区的防治水工作，都必须综合研究各方面的情况和条件，作好全面规划，因地制宜地采用多种方法，有机配合。

查清水文地质条件是做好防、治水工作的基础。只有对水文地质条件有比较清楚的了解，才能正确地指导防、治水规划，合理地选用各种防、治水方法，收到事半功倍的效果。例如要想正确地留设防水煤、岩柱，就必须首先对煤层顶板至地表水体或含水层底板之间的岩性、厚度、物理力学性质、剖面结构及构造特征有清楚的了解；要想有效地搞好超前疏干，就必须首先对含水层的岩性结构、水文地质参数、补给、排泄条件以及补给量与贮存量等有准确的资料；要想搞好注浆堵水，就必须首先水文地质构造，需要注浆堵水的准确部位、宽度、深度及其岩性结构与构造特征。总之，必须坚持“先查清后防治”的原则，才能避免盲目性，取得好的效果。

第四节　几个煤田顶板水问题的研讨

一、巨厚新生界下煤矿床充水条件与露头煤柱留设的研讨

在我国东部的许多隐伏煤田中，煤层多而倾角缓，开采浅部煤层时，通常要留设露头煤柱。留设露头煤柱的主要作用之一就是阻止或者减少新生界地层向矿坑充水。如何留设露头煤柱必须考虑新生界地层的水文地质特征和其向矿坑的充水条件，而新生界向矿井的充水的强度和其它特征又受到所留露头煤柱所制约，怎样留设煤柱决定着新生界地层下隐伏煤田矿井的充水强度和其它特征。在保证矿井安全和正常生产的前提下，尽量减少煤柱高度往往可以获得良好的综合效益，其中需要研究的是由此而引起的充水条件变化及对矿井开采可能产生的影响。在厚新生界覆盖区只有在研究如何合理留设露头煤柱的基础上，才有可能比较正确地分析矿床充水条件，而不致于脱离矿床开采的实际需要和具体条件。

（一）从矿床充水条件看影响露头煤柱留设的因素及其地位

影响露头煤柱留设的因素很多，它们有着不同的地位，而且相互制约和影响。从系统理论的观点来看，煤柱留设条件研究是一个系统工程问题，诸多的影响因素构成一个完整的系统，在这个系统中包含着若干个方面的子系统，各子系统又可以包含着一些更低层次的子系统，形成有序结构。根据露头煤柱留设的经济有技术合理性目标以及工作区的具体

条件，研究各子系统的作用，特别是那些占主导地位的子系统；综合分析各个子系统间的相互联系，进行合理的协调和决策，即从整体目标出发，从各子系统单独分析到综合协调研究，从较大范围的概略认识到局部的详细的、较深入的认识，由煤柱的类型到确定煤柱的具体尺寸的过程。按照以上要求，我们首先找出那些影响露头煤柱留设的主要因素，按照它们的性质，分为水文地质、工程地质、地质及开采等 4 个方面亦即 4个子系统，先单独进行研究。

1. 水文地质因素

主要包括：

(1) 新生界的厚度、结构，底部是否有含水层。

(2) 新生界底部含水层（以下简称底含）的富水性，补给条件等水文地质特征，新生界底含上覆隔水层的发育状况及隔水性。

(3) 基岩顶部风化状况及风化带的水文地质特征。

(4) 主要可采煤层顶底板有无直接充水含水层及其富水性、导水能力及与新生界底含的水力联系程度。

(5) 新生界底含与井田内各含水层的水力联系程度。

以上 5 种因素，对矿井充水及露头煤柱留设的影响性质及地位如下：

(1) 新生界厚度、岩性与结构、底部有无含水层是影响矿井充水和露头煤柱留设的关键因素。当新生界底部为含水层时，通常要留设防水煤柱，阻止或减少底含水进入矿坑，煤柱的尺寸应防止冒裂带达到新生界底含，当新生界底部为相对隔水层时，可以只留设防塌煤柱。在其它条件相同的情况下，煤柱的类型不同，其高度也有较大的差异。从这个角度上讲，新生界底部有无含水层是决定煤柱留设高度的第一级因素。

(2) 新生界底含的特征是决定是否可以转变煤柱类型或缩小煤柱高度的主导因素。

从我国东部厚新生界下煤田中已开发的矿井来看，有一些矿井在留设 60～80m 露头煤柱的情况下仍未能完全阻隔底含水进入矿坑。如果继续增大煤柱高度也未必能完全阻隔底含水，只从阻止底含水进入矿坑考虑，过高的露头煤柱，不仅造成煤炭资源呆滞和损失，而且影响矿井开发的经济效益。因此，能否改变煤柱类型（如变防水煤柱为防砂煤柱）或减少煤柱尺寸已成为许多矿井共同关心的问题，其中底含特征的研究占有重要的地位。底含的特征包括富水性和补给条件两个主要部分。

底含的富水性一般可以用抽水钻孔的单位涌水量，结合底含的岩性、厚度、分布范围等因素来衡量，可分为以下三种情况：

①富水性强的，单位涌水量 $q \geqslant 1 \mathrm{L/s \cdot m}$;

②富水性中等，$0.1 \mathrm{L/s \cdot m} \leqslant q < 1 \mathrm{L/s \cdot m}$;

③富水性弱的，$q < 0.1 \mathrm{L/s \cdot m}$。

底含的补给条件好坏主要取决于两个因素，一是底含与新生界其它含水层的水力联系程度，二是底含与各基岩含水层的水力联系程度。我国东部的隐伏煤田，在新生界底含之上，通常有分布比较广泛的粘土隔水层存在，底含与新生界上部含水层的水力联系程度往往取决于该隔水层的稳定程度和隔水性。因此，底含的补给条件又可以分为 4 种情况：

①底含与新生界上部含水层水力联系较好的。存在于底含上覆隔水层变薄、隔水性较差或存在“天窗”的某些矿区或某些地段，矿井疏排底含地下水后可以造成新生界上部含

水层水位明显降低。但是，由于新生界中有多层隔水层，其垂直渗透能力及底含的导水性通常要较上部各含水层弱，上部含水层对底含的补给仍受其越流能力限制。

②底含与新生界上部含水层水力联系很弱。造成这种情况则是由于底含上覆隔水层厚度大且分布稳定，由于底含缺乏上部含水层的补给，其径流常比较滞缓，地下水矿化度也较高，在矿井疏排底含地下水之后，常与新生界上部各含水层有很大的水头差，同时很少引起新生界其它含水层水位的明显下降。

③底含直接覆盖于各基岩含水层露头之上。这种情况常使各基岩含水层具有较密切的水力联系。在华北型隐伏煤田中，底含经常覆盖在 C—P 煤系中砂岩含水层、太原统灰岩以及奥陶系灰岩之上，成为沟通各含水层地下水的通道，当这些含水层中某一个或某几个含水层向矿坑充水时，则其它含水层便可以通过底含向这些含水层补给，从而形成“共同效应”，使得各含水层的水位均有不同程度的降低，各基岩含水层间的水力联系程度则主要取决于底含的导水能力大小以及各含水层导水性的相对强弱。

④基岩含水层露头区无底含分布或者底含的富水性很弱。此时各基岩含水层间的水力联系一般也较弱，通常矿坑水量也小。

(3) 基岩风化带的导水性是底含向矿坑充水的主要制约因素。

当底含直接覆于各基岩露头之上时，基岩顶部的风化情况和风化带的导水性制约着底含向矿坑充水的强度。由于风化作用，可能使某些坚硬的砂岩类导水能力增强而某些泥质含量较高的岩层则导水性减弱，某些含长石成分较多的砂岩也可能由于长石风化形成的高岭土使得其导水性能变弱。在一些矿区或地段风化带可以减弱底含向矿井的充水强度，而在另一些矿区或地段，其风化带导水性和富水性较强，不仅自身是矿坑水的来源，而且也增强了底含向矿坑充水的能力。

(4) 可采煤层有无直接充水含水层及其富水性、导水能力以及与底含的水力联系程度是影响矿井充水煤柱留设的另一重要因素。

当底含直接覆于各基岩含水层之上时，对某一特定煤层而言，也有两种情况一是煤层顶底板有直接充水含水层，二是无直接充水含水层。当煤层顶底板有直接充水含水层时，底含水对该煤层开采充水作用较强，而且有两种主要途径，既可通过冒裂带，也可通过补给直接充水含水层向矿井充水；如煤层顶底板无直接充水含水层，底含将主要通过冒裂带向矿井充水。当底含的导水性好于直接充水含水层时，直接充水含水层将限制着底含的充水能力。反之，底含的充水能力得以较好的发挥，其水位疏降速度也快。

对于露头煤柱留设的水文地质条件而言，首先是弄清底含是否存在，只有底含存在才有必要研究底含上覆隔水层、基岩风化带的水文地质特征、底含水进入矿坑的可能方式和途径。据此，我们可以将各有关的水文地质因素分为四级，底含有无为第一级，可采煤层顶底板有无直接充水含水层为第二级；底含的富水性、基岩风化带导水能力为第三级；底含的补给条件为第四级。这些不同级次的条件有各种不同的组合，不同的组合情况下底含对矿井的充水结果不一样，露头煤柱的留设条件亦不同。如果我们将有底含用 A 表示，无底含用 B 表示；开采煤层顶底板有直接充水含水层时用 C 表示，无直接充水含水层用 D 表示；将底含富水性的强、中、弱分别用 X_1、X_2、X_3 表示；底含与新生界其它含水层水力联系强时用 Ⅰ表示，弱时用 Ⅱ表示；当与各基岩含水层水力联系强时用 Ⅲ表示，弱时用 Ⅳ表示；基岩风化带导水性强时用 Ⅴ表示，弱时用 Ⅵ表示；煤层顶底板直接充水含水层导

水性强时用Ⅶ表示，弱时用Ⅷ表示，则可作以下讨论；

①A种条件下，一般应留设防水煤柱，但根据具体条件有可能改变煤柱类型和高度，矿井的充水条件也随之发生变化。

②B种条件下，可以只留防塌煤柱，矿井充水强度弱。

③A－C 组合条件，即既有底含，开采煤层顶底板又有直接充水含水层，由于底含可以通过冒裂带，又可以通过直接充水含水层向矿井充水，用留设煤柱的办法往往不能完全阻止底含进入矿井。当煤柱高度足够大时，也只能阻止底含水通过冒裂带直接进入矿井，而减少底含充水的水量，但不能阻止底含水通过直接充水含水层进入矿井。在这种情况下，用增大煤柱尺寸的办法来防治底含水显然是被动的，应该考虑变消极防水为积极防水，用增大矿井排水量的办法，适量减少煤柱高度，用增加排水量去解放部分煤柱压煤，虽然多排了水，但同时也多采了煤，这在技术经济上仍可能有一定的可行性和合理性。我国东部许多隐伏煤田，新生界底部富水性弱，这为减少煤柱尺寸提供了有利条件。

④D种条件下，留设防水煤柱一般可以阻止底含水进入矿井，但过高的煤柱将造成资源浪费。

⑤底含的富水性从 $X_3 \rightarrow X_1$ 时，底含向矿井的充水能力从小至大。富水性强，矿井涌水量通过也大，减少煤柱高度后，矿井水量的增长幅度也大。

⑥底含的补给条件，决定于底含与新生界，底含与基岩含水层间的水力联系程度。补给条件的好坏，决定了底含对矿井充水量的变化趋势。Ⅰ＋Ⅲ条件下，矿井水量较大，且衰减幅度较小；Ⅰ＋Ⅳ条件下，底含的充水量取决于它从新生界其它含水层所能获得的补给量，矿井涌水量一般比较稳定；Ⅱ＋Ⅲ条件下，则因为各基岩含水层可以通过底含产生“共同效应”，使矿井初期水量较大，各有关含水层水位均有明显下降。但是由于底含及基岩含水层补给比较贫乏，长期排水后矿井涌水量又主要取决于补给量，故矿井涌水量衰减较快，幅度较大，可以用增大矿井初期排水量的办法，同时降低煤柱高度来解放部分新生界下的压煤。由于各基岩含水层水力联系密切，多个煤层同时开采，矿井总涌水量增加幅度不会太大，且水量衰减加快；Ⅱ＋Ⅳ条件下，矿井涌水量一般较小，有条件可进行采区疏干开采。

⑦风化带也是矿井充水水源，其富水性也是充水强弱的因素，但风化带更重要的是作充水通道，导水性强其通道条件则好，导水性弱则成为遏制底含充水的因素，有利于减少煤柱高度。

⑧煤层顶底板直接充水含水层导水性强弱是决定底含向矿坑充水量的重要因素，导水性越强，底含向矿井充水量一般也大，但减小煤柱尺寸后引起的矿井涌水量的增量却往往较 小 。

⑨底含的富水性只是决定底含向矿井的充水潜力，而潜力能发挥到什么程度则取决于通道的畅通程度（风化带、直接充水含水层。以及冒裂带的导水性），底含的补给条件决定了充水量的变化速度和幅度，在研究底含的充水条件时应该把三者作为统一体研究，通盘考虑其对矿井充水量及煤柱留设的综合影响。

(1)、(2)、(3)、(4) 条中的四个不同级次的条件的各种组合可以逐一列出，它们反映了底含（底隔）对矿井充水和露头煤柱留设的不同影响及地位。通过生产矿井的调查可以验证这些组合的水文地质意义，从而可以指导未开发区煤田勘探及煤柱的留设工作。

2. 工程地质，地质及开采方面的影响因素

工程地质、地质及开采方面的因素主要是通过控制冒落裂隙带的高度和特征来影响矿床充水条件和露头煤柱留设的。

(1) 工程地质因素。主要包括：煤层覆岩的岩性、力学强度、岩性组合以及岩体性质；回采后煤层顶板的再生性；风化基岩的工程地质性质（主要是采动变形特征）。工程地质条件差异使煤层回采后对顶底板的采动影响不同，冒裂带发育状况有明显差别，影响煤柱的高度及效果。

覆岩岩性是控制冒裂带发育的重要因素，一些脆性岩层，如较致密的砂岩、粉砂岩则冒裂带发育较高，且裂隙的导水性能好；粘塑性较强的泥岩，泥质砂岩类则冒裂带发育高度较小，裂隙导水性也差，易重新闭合；介于硬脆性与粘塑性间的岩层其冒裂带发育也介于两者之间，一般岩层在风化后其泥质含量多有增加，其粘塑性也随之增加，特别是原岩泥质含量较高的岩层、导水裂隙带的发育受到限制，在煤层采动影响后，许多新生的裂隙也可能较快地闭合；但在一些泥质成分较低的风化砂岩中，煤层采动影响下其导水性有显著的增强。在工程地质条件研究中，着重研究的是可能在冒裂带范围的那些岩层，除了研究单个岩层的岩性外，还要研究岩层的组合关系，划分出不同的工程地质层组类型，如以泥质岩层为主；砂岩层为主；砂、泥岩类薄层状互层；砂、泥岩厚层状相间等等层组类型。

煤层顶板岩层分层厚度也是影响冒裂带特征的重要因素，一般来讲分层厚度增大，回采后冒落岩石块度也大，岩层的碎胀系数大，采空区易充填，进而使冒裂带高度变小，对于那些分层厚度适中，总厚度较大的覆岩则冒裂带发育将受到限制。软岩为主以及软硬相间的岩性组合，冒裂带高度通常较低；在软岩间的砂岩夹层，尽管在采动影响下可能出现较多裂隙，但层间连通性弱，导水性也差。

形成采动冒裂带后，受上覆岩体重量影响，在一定的含水量条件下，一些被破坏的顶板岩层，特别是含粘土成分较高的岩层，可能重新胶结成新的岩层，形成新的顶板，阻止地下水进入矿坑并阻止冒裂带的进一步发展，顶板再生作用发育的矿井，对煤层露头煤柱的留设十分有利。

(2) 地质因素。地质条件是研究水文地质工程地质条件的基础，煤层露头位置、层数、厚度、间距及倾角等因素不仅影响着露头煤柱的尺寸，也影响着煤柱的压煤数量，如煤层倾角过大，也可能大采动后引起地面抽冒；煤层风、氧化带深度及风、氧化带内煤层的开采价值也是决定煤层回采上限时必须考虑的因素；基岩顶面特别是煤层隐伏露头地段的起伏状况对煤柱的留设也有明显的制约作用，基岩面起伏大则提高回采上限将受到一定的限制。总的来说，地质因素通常是论证煤柱留设经济技术合理性的基础资料，也是决定露头煤柱类型之后，设计煤柱具体尺寸所必须考虑的重要因素。

(3) 开采因素。主要包括煤层开采方法、开采深度及强度；煤层顶板管理方法；矿井防治水设施及措施；矿井排水能力及矿井涌水量。

煤层的开采深度、强度、开采方法以及顶板管理方法，直接影响到冒裂带高度和其它特征。留设露头煤柱一般应考虑以下三方面问题，一是冒裂带能否达到底含；二是如果冒裂带能达到底含，矿井涌水量将会增加多少；三是是否需要用特种开采方法以保证冒裂带不达到底含或矿井涌水量不致增加过多。

根据开采方评价冒裂带发育可能给矿井充水带来的影响及根据条件选择合适的开采方法（如充填法，条带法和限厚法采煤等）是煤柱留设中对开采因素的评价原则，但最终还是要根据经济技术合理性选择来决定煤柱的留设尺寸。同时，矿井的防治水措施、排水能力与矿井涌水量、底含的充水强度之间必须是协调的，减少煤柱高度通常会以多排水为代价的。

冒落带及导水裂隙带可以选取有关参数及公式计算，根据地质、工程地质及其它条件修正，根据生产矿井或邻近矿井资料进行校核，必要时可用数值法或模拟方法进行计算。

（二）露头煤柱留条件的综合研究

在分别对水文地质、工程地质、地质、开采各子系统进行单独分析和对策研究的基础上，进行综合对策研究。在寻求经济技术合理决策的过程中，一般可以先研究水文地质条件，再研究工程地质条件，当新生界无底含时则重点研究工程地质条件。无论是研究水文地质还是工程地质条件时，均必须以地质条件为背景，结合开采因素，综合研究的一般要求是：

(1) 查明影响煤柱留设的地质、水文地质、工程地质方面的基本条件，关键地区是煤层隐伏露头地段，着重查明有无底含分布及底含的富水性和补给条件；查明风化带的导水性；查明煤层顶底板有无直接充水层及其导水性；查明煤层隐伏露头位置及隐伏露头区的基岩面地质状况。

(2) 根据底含的有无正确确定煤柱类型，按常规方法计算冒落带及导水裂隙带高度，并根据具体的工程地质条件等因素和已有矿井生产资料进行校核，初步估算煤柱的高度。

(3) 论证改变煤柱类型及降低煤柱高度的可能性。方法是研究降低煤柱高度可能采用的各种措施（如扩大矿井排水能力、控制降落漏斗的形状及位置、采区疏干等）以及降低煤柱高度后对矿井开采可能产生的各种影响及对策，从经济技术上论证改变煤柱类型及高度的合理性和效益。在回采上限提高到煤层风、氧化带时，要论证煤层风、氧化带的可采性。

(4) 根据露头煤柱留设条件的变化状况和矿井开采的实际需要，分区段确定煤柱高度。煤柱留设条件和对策研究贯穿于矿井开发的各个阶段，由于各个阶段的工作程度、工作目的和任务差异，使各阶段工作各有侧重。作好各阶段的工作并使之相互衔接，才能为煤柱留设提供较好的基础，使矿井充水条件向好的方向转化。

二、海下、湖下煤层的开采问题

前面已经提到，我国海下、湖下煤田的开采，到现在已经起步，起步较晚的原因，一是由于当地陆上煤炭资源还比较多，暂不急于开发海下、湖下煤层；二是由于海下、湖下煤田的勘探费用比陆上煤田的勘探费用相对较高，故海下、湖下煤田的勘探程度都较低，或者还处于预测阶段，暂不宜于开发；三是我国还缺乏开采海下、湖下煤层的经验，在未经充分研究和准备的情况下，不敢贸然开发。但从全国总的情况看来，我国东部的煤炭资源还是比较紧张的，而这些海下、湖下煤田又都位于东部，从局部省（区）来看，可能是不急需的，但从总体来看，还是应当考虑的。勘探费用虽然略高，但比起西煤东运的费用来，还是微不足道的。我国虽然缺乏开发海下、湖下煤田的直接经验，但开采中、小型河流及松散砂砾含水层下的煤层，经验还是比较多的。与开采海下、湖下煤层，在本质上没

有多大差别。同时还可以参考英国、日本等外国海下采煤的经验，再加上我们自己的充分研究，也不是办不到的。总之，我国既然有了海下、湖田煤炭资源，就应予以开发，让它造福人民，总不能让它长眠水下。因此，我们应该及早予以研究一下，提供一些意见，无疑是有益的。

（一）海下、湖下采煤与中、小型河流及河谷砂砾含水层下采煤在质上无大差别

大家都知道，在有长年水流的河床下及含水较富的砂砾含水层下采煤时，是不能让河水或砂砾含水层中的水大量进入矿井的。我国许多煤矿在河谷下采煤的大量实践经验已告诉我们，只要矿井在河谷下所留设的防水煤岩柱满足了式（5－22）的要求，即使在含水非常丰富的河谷下也是完全可以实现安全采煤，矿井水量基本不会增加或不会大量增加的。此时，河水及砂砾含水层中的水对矿井只能起着越流补给的作用，矿井涌水量的大小取决于所留设的防水煤岩柱的尺寸与渗透性能及越流量的大小，而不取决于河水及砂砾含水层水的大小。由此，我们可以断定，即使在海下、湖下采煤，只要矿井在海下、湖下所留设的防水煤岩柱能满足公式（5－22）的要求，我们也同样可以实现安全开采，而不至有海水、湖水灌入井下之虞，而只有稳定的越流补给水量。这个越流补给水量是可以计算出的，而且还可以通过合理设计防水煤岩柱，来调整越流量的大小。特别是当煤层顶板以上有较厚的泥岩或粘土岩，或海底、湖底有较厚的软泥做保护层时，连这个越流量也是很微小的。

（二）国外海下采煤的成功经验，也可供借鉴

在国外，海下采煤已有多年的历史。以英国、日本为多，时间也最早。英国于1857年即在苏格兰开始了海下采煤，日本于1863年在长崎也开始了海下采煤，加拿大于1874年在西得湟煤矿开始了海下采煤。

英国海下采煤多在苏格兰、诺森宝兰和达莱姆地区，开采范围已伸向海中5～6km，今后还将继续增加。

苏格兰北部的海下采煤矿井西费尔德煤矿、有可采煤层7层，总厚7.87m；煤层顶底板为砂岩、页岩及粘土层，倾角20°～40°。第一水平标高－311m，第二水平－549m，用综合机械化开采，采用前进式长壁全部陷落开采方法。年产煤167万t。

诺森宝兰的巴茨煤矿，也是海下采煤矿井。可采煤层2层，单层厚0.9m左右、层间距30m，倾角近水平。煤层顶底板为页岩、砂质岩及粘土岩。采深160余米。采用前进式长壁全部陷落开采方法，用综合机械化开采，产煤4000t/d。

以上两矿都未见有突水的报导。估计是安全的，否则不可能采用长壁全部陷落开采方法，也不宜用综合机械化开采。

在库姆别尔廉特的纽克劳克煤矿，巷道伸入海下150m，某些地段，巷道与海底之间只有1.5m。由于海底覆盖有粘土层，井巷从未发生过溃水。

在不列颠哥伦比亚的凡库维尔岛，开采层厚为0.6～3.0m及0.9～1.2m的两层海下煤层，煤层至海底之间的覆岩为：基岩1.3m；粘土1.5m；海底淤泥7.0m。海水深7m。采煤方法为房柱式。从房中采出煤后，充填采区，再采出煤柱，煤损仅20%。51年中未发生由于水下采煤而引起的死亡事故，而且正以1500t/d的产量在继续回采。

新苏格兰采矿规程规中规定：海底采煤的覆岩厚度不得小于54m，掘进准备巷道的覆岩厚度不得小于30m，此时，回采率不得大于采区总储量的44%。

日本的煤田大多分布在太平洋和日本海沿岸、现在正进行海下开采的煤田有钏路、佐世保、崎户松岛、高岛、三池、天草和宇部七个煤田。其中高岛、松岛及佐世保煤田，分布于外海，水深达 70～80m；三池煤田则位于海弯内的远浅海域，水深 - 10m；宇部煤田离海岸 7km,水深 15m，开采深度一般在海平面下 200～500m 之间。大多数海下采煤矿井是从陆上建井，掘长距巷道开采海下煤层、其中宇部矿从井口至工作面的距离竟达 12000m。现已开始在海上筑人工岛，在人工岛上建井的方法。

宇部地区曾在海下开采过层厚为 1.6m 倾角 2°～4°的煤层。煤层顶板基岩组成为：砂岩 30%，页岩 40%；砂质页岩 30%。基岩上覆有粘土卵石层。采深只 40m，开采方法为房柱式，结果表明是安全的。

日本海下采煤深度最小的端岛煤矿，有 7～8 层煤，覆岩构成是：砂岩 11.8%；砂质页岩 35.8%；页岩 52.4%。无第四纪地层。海水深度约 30m，1973 年以来开采了最浅的一个阶段（ - 179～ - 120m），除了对 12 尺层（层厚 6.5m）采用了分层开层、水砂充填外，其余煤层均用全部陷落法开采。全矿最大涌水量 $17.5m^3/min$。

崎户煤矿的经验表明，在海底下 80～100m 处采煤时，可以保证安全。

宇部煤田前后发生过 100 多次突水，其他矿井也发生过多次。突水原因：①断层；②顶板冒落裂隙；③特殊地质构造破坏；④旧坑出水。为了保证安全，日本煤矿保安规程中海底采煤对水文地质调查、开采方法及防水措施等都作了具体规定。其中规定的采矿方法与覆岩厚度的关系，可归纳如下表（表 5 - 3）：

表 5 - 3　采矿方法与覆岩厚度关系表

（日本煤矿保安规程）

第四系 \ 允许开采方法 \ 基岩		煤层顶板基岩（第三纪）厚度（m）							
		<10	<20	<40	<60	10～40	20～40	40～60	60～100
海底第四纪粘土类地层厚度（m）	<5				×			△	
	5～10			×				×	
	10～30		×				△		
	>30	×				△			

×禁止开采；△用房柱式充填方法开采

总观国外海下采煤的经验，可以得出如下结论：只要我们对海下煤田的地质情况（煤层层数、厚度、倾角及煤层间距；顶底板尤其是顶板以上覆岩的岩性、厚度及其物理力学性质；海水水深海底沉积物性质及厚度；构造、断层及导水性等）有清楚的了解，采取相应的开采方法及周密的探水、防水措施，海下煤层是完全可以做到安全开采的。

（三）我国的海下、湖下煤田存在着一些有利于开采的条件

我国的海下、湖下煤田，从其地质及水文地质条件来看，对于水下采煤都有其一定的有利条件。

1. 黄县煤田

黄县煤田濒临渤海，陆地及海下均含煤，陆上含煤面积约 $350km^2$，储量约 13.9 亿 t、

预计海下含煤面积 150km^2，储量 12.9亿 t（图 5－12）。陆上煤田已经开始开发，近海处煤层也正准备开发。山东胶州半岛是缺煤地区，开发黄县煤田对该区的经济发展有重要作用

图 5－12　黄县煤田示意图

煤田为第三系煤田，覆有第四系及第三系玄武岩，第四系厚 40～120m，煤系地层厚约 200m，可采煤层 4 层，平均可采厚度 10.48m，油页岩 2 层，平均可采厚度 4.28m。

海水对矿井的充水曾经是开发黄县煤田所考虑的主要问题，但近海处陆上煤田开发后，矿井涌水量不大，其中北皂矿 1978 年至 1982 年 10 月，矿井涌水量 80～120m^3/h，桑园矿为 75.5～82.5m^3/h；洼里煤矿 1970 年 6 月至 1983 年 3 月，矿井涌水量为 30～40m^3/h。实践证明，尽管在煤田开发中可能会引起海水的反向补给，但没有造成危害。在取得陆上开采成功经验后，矿务局已准备在北皂矿向海岸外侧延展开采范围，开采海下煤层，从条件分析，有利因素较多：

（1）区内第四系、新第三系广泛覆盖于煤系地层之上，海水不能直接接触煤系地层，只能通过第三系和第四系后方能向矿井充水。当矿井开采的导水裂隙带不能达到第三系和第四系含水层时，第三系和第四系的地下水就不能通过煤系含水层进入矿井。

（2）煤田内上覆第三系玄武岩导水性较弱，第四系内含、隔水层相间，结构比较复杂，垂直方向上导水性能差，且底部多为粘土、亚粘土层，仅局部为砂及砂砾含水层。第四系地层阻水能力不仅表现在天然状态下，而且即使在一定的采动影响后，其阻水能力也易于得以恢复。例如，在草泊煤矿衰老停井前曾超限开采了浅部一层煤，采用房柱式开

采，采厚 2.2～2.3m ，开采上限煤层以上仅有 2.37m 风化岩柱，其中一条宽巷顶板冒落后，发生了泥砂水溃人事故，但涌入泥砂水量仅 2～3m^3/h，经用稻草砂袋、砌筑挡水墙等措施，便堵住了泥砂水，此后地表出现了直径 10～20m 的塌陷坑（图 5－13），这说明了尽管煤层的开采已经明显地引起了覆岩的变形，并在局部地段遭受破坏，但是遭受破坏

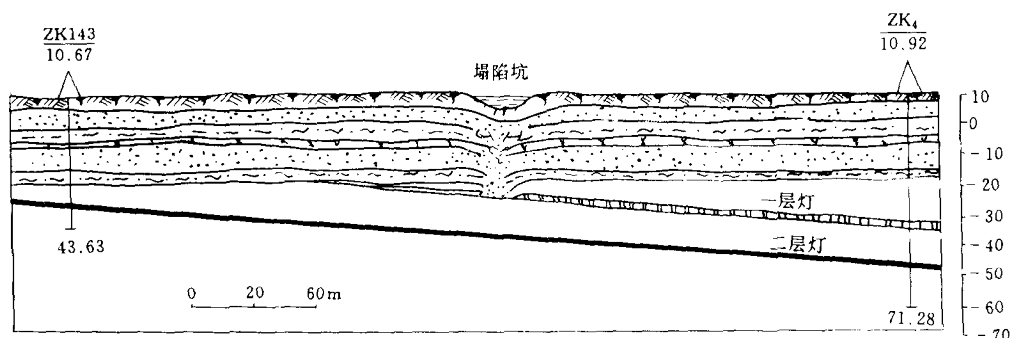


图 5－13　草泊煤矿超限采煤及地面塌陷坑剖面

后的第四系地层仍然具有相当的阻水能力，并未导致第四系富水性较强的砂层水大量进入矿坑。

(3) 煤系以粘土岩、泥岩、粉砂岩、油页岩居多，颗粒细，多具塑性，遇水膨胀，自身含水性弱，导水能力差。

(4) 在煤系上部有 3～8m 厚的风化带，亦为隔水层，同时具较强的塑性变形能力，能有效地抑制导水裂隙带的形成与发展。根据区内洼里煤矿的实测资料，在覆岩软弱的条件下，导水裂隙带最大高度为采厚的 7.5～12 倍，裂隙带达到基岩风化带时，由于风化带塑性变形增加，裂隙带更不能充分发展，导致导水裂隙带高度大大降低，仅为采厚的 4～7.88 倍，一般为 4～5.5倍，而且导水裂隙带上方的基岩风化带的隔水性并未遭受破坏。

(5) 海下煤层（拟开采区）埋藏深度达数百米，其上覆岩隔水层居多，煤层开采条件下仍具相当的隔水能力，一般条件下，导水裂隙带不能达到第四系，更不会达到海底。

(6) 现有的矿井涌水量小，矿井有排水潜力，也可以增加排水能力，即使水量会有所增大，也有回旋余地。

2　殷庄煤矿微山湖下采煤

微山湖是一个大型湖泊，湖水覆盖面积一般为 1500km^2 左右，蓄水量常年为 40～50亿 m^3，最大达 65.54 亿 m^3，据初步统计湖下约有煤炭储量 102 亿 t（含水域及滨湖区），其中常年积水的湖下约 60 亿 t。殷庄井田位于微山湖东南边，包括陆上和湖下两部分（图 5－14）。殷庄煤矿湖下采煤对其它湖区也有借鉴作用。

井田内主要含煤地层为山西组，含 7、8 两层煤，7 煤平均约 1.2m，8 煤平均 2.0m。开采湖下煤层的突出问题是湖水的充水作用和强度问题。由于煤系地层之上普遍覆盖有第四系，湖水只能通过第四系向矿井充水，湖水有相当大的水量，但它究竟是否能向矿坑充水和充水多少则取决于第四系、基岩风化带以及煤系地层的导水能力，取决于冒裂带的发育状况，分析井田条件，有以下有利因素：

图例：
- 岸边等水位线
- 回采块段边界及时间
- 地表移动观测站
- 观测巷道、钻孔

说明：
1、采用的比例尺为：0 50 100
2. 本图湖下条掘工程进度其本所映到1988年初。
3. 8101、8102工作面，除覆岩破坏、地表沉降探测外，还进行了矿压及岩移观测，为保持图面清晰，具体布置从略。

图5-14 殷庄煤矿西翼微山湖下煤层试采与探测试验工程总平面布置

（1）煤系地层含水性弱，7、8 煤顶板砂岩是矿井直接充水含水层。7 煤顶板砂岩厚约 10m，单位涌水量 $q=0.007L/s\cdot m$ 底部太原灰岩距煤层远影响小。

（2）基岩风化带厚 20～30m，主要由泥岩及砂岩互层组成，其中砂岩是散砂或固结状，泥岩遇水易软化膨胀，能有效地抑制采动后导水裂隙带的发展，风化带的抽水单位涌水量 $q=0.0034\sim0.13L/s\cdot m$ 导水性弱。

（3）井田内断层的导水及含水性均弱。

（4）湖边第四系 4～5m，由岸边向湖心逐渐增大，平均约 10m。第四系中砂层一般由粘土质砂、含粘土砂砾或中、粗砂砂组成，虽然砂层单位涌水量 q 为 $1.063L/s\cdot m$，渗透系数 K 为 37.5m/d 且与湖水有较密切的水力联系，但是由于松散层相变频繁，岩性多变，垂直方向上的渗透性远小于水平方向，导水能力受到限制。

（5）通过非湖区开采，已有实测的冒裂带的最大高度，证明了当安全煤柱高度 80～85m 时（采深 90m）一般是安全的。

殷庄煤矿试采以后证明不仅 80～85m 的煤柱是安全的，而且实测得导水裂隙带高度为 14.5～37.0m，一般为 30m 左右，裂采比为 10～20，提高回采上限尚有潜力，当安全煤柱高 50～70m 时也是安全的。

三、岩溶含水层下煤层的开采问题

从采煤的角度来看，在岩溶含水层覆盖下的煤层可分以下几种情况：

（1）煤层顶板至岩溶含水层底板之间的相对隔水层厚度大于煤层开采时顶板冒落所产生的导水裂隙带高度。显然这种情况，煤层完全可以安全开采，一般不须采取防治水措施。

（2）岩溶含水层与煤层呈断层接触或呈角度不整合于煤层露头之上。如湖南的渣渡煤田中段，粤北的曲仁煤田格顶井田及花坪向斜东翼。对于这种情况，可按式（5－22）的要求，于煤层露头部位留设防水煤、岩柱来解决。

（3）岩溶含水层平行覆盖于煤层之上，且煤层顶板至岩溶含水层底板之间的相对隔水层厚度小于煤层开采时的冒落导水裂隙带高度，但岩溶含水层的岩溶不甚发育，或含水层厚度不大、补给条件不好、水量不大，随着煤层的开采，可以被逐渐疏干，对安全采煤危害不大。对于这种情况，无论华北或华南都有大量成熟经验。如华北太原组中山青、伏青、野青灰岩，华南吴家坪组（或合山组）中的薄层灰岩大都是在采煤的同时被逐渐疏干，很少危及矿井安全。但当这些薄层灰通过断层或岩溶陷落柱与下伏主要岩溶含水层（在华北为中奥陶统灰岩，在华南为茅口灰岩）发生水力联系时，亦往往能给矿井造成灾害。此时，应留设局部防水煤、岩柱。

（4）岩溶含水层平行覆盖于煤层之上，煤层顶板至岩溶含水层底板之间的相对隔水层厚度小于冒落导水裂隙带高度，且岩溶含水层水量很大，能使矿井淹没。这种情况，在江西、湖南、广东、四川都可见到。其中以赣中的龙潭组 C 组煤的开采问题最为典型。现以丰城矿区为例来研究一下其开采问题：

丰城矿区为一四周封闭的北东向向斜（图 5－15）。其东南翼大部被第三系底部不整合面切去，西北翼比较完整。C组煤发育良好，储量比较丰富，煤质为主焦煤。对于缺煤的江南地区来说，确是一块“肥肉”。但 C组煤上距强烈岩溶化的长兴灰岩很近，其主要

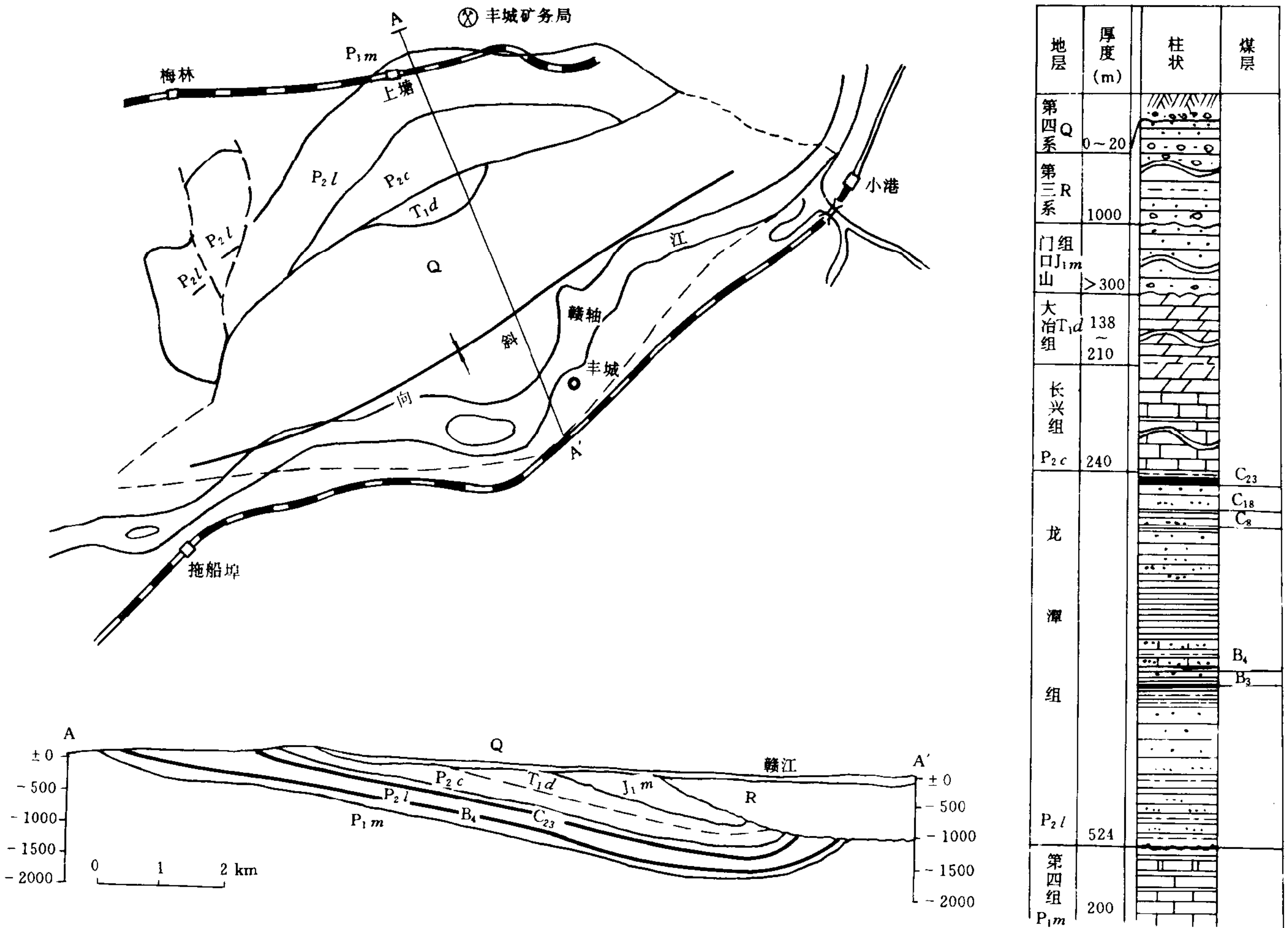


图5 15　丰城矿区水文地质示意图

可采层 C_{23} 的顶板跟长兴灰岩仅 10m 左右，局部地段还不足 10m。1978 年云庄矿试采该层时，顶板冒落，水量达 6582～19000m^3/h，矿井迅速被淹。至今未敢再度开采。

丰城矿区的 C 组煤究竟能否开采？用怎样的方法才能开采？首先让我们来分析一下丰城矿区的水文地质条件：

①丰城矿区是一个四周封闭的中等规模的完整水文地单元。C 组煤及其顶板长兴灰岩四周及底部均被渗透性很弱的龙潭组所包围，与单元外基本没有水力联系。

②长兴灰岩绝大部分被渗透很弱的大冶组泥灰岩及其上覆地层所覆盖，其能获得补给的面积长不足 20km，宽约 2.5km，计 50km^2 左右，其可能获得的补给水量（主要为降水）是有限的。

③长兴灰岩虽厚约 240m，但其中夹有粉砂岩，对 C 组煤起充水作用的只是粉砂岩以下的长兴灰岩底部。其有效含水层厚度不是很大的。

④在单元内长兴灰岩虽普遍覆盖于 C 组煤之上，但其岩溶发育强度随着埋藏深度的增大而显著减弱（图 5-16）。其强烈岩溶化的部位一般仅限于浅部，对 C 组煤的充水范围也是有限的。

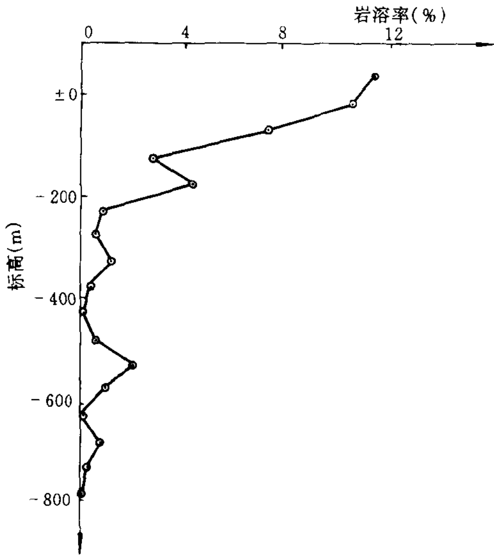


图 5-16 丰城矿区长兴灰岩岩溶率随埋藏深度变化曲线图

总观以上四点，长兴灰岩对 C 组的开采，虽然威胁很大，但其水量毕竟是有限的，开采 C 组煤时顶板突水的瞬时水量虽然很大，其稳定水量将会小得多。单独用一个井开采，固然难以承受如此巨大的水量，如果同时开凿 4～5 对井，进行联合疏干，每井所分担的水量数字就在可以承受的范围内了。而且随着时间的增长，开采深度的增大、水量将逐渐减小。

再从煤炭资源量来看，仅详、精查储量就有近亿吨，深部（600～1000m）尚有 1.7 亿 t 的可靠级预测储量，建 4～5 对中型井是可能的。至于地面塌陷问题，虽然能带来很大麻烦，但毕竟是可以设法处置和治理的，还不是决定能否开采的主要问题。

看来，用多井联合疏干的办法来开采丰城煤矿的 C 组煤，在战略上是可能的；但在具体战术上还必须事先查清以下几点：

①C_{23} 煤层顶板至长兴灰岩底板之间的岩层具体厚度及其在平面上的变化，并作出等厚线图。

②将长兴灰岩进行可溶性详细分层，确定出对 C 组煤开采能起直接充水作用的有效含水层厚度。

③查清上述有效含水层厚度可能获得的补给水量。

④进一步查明长兴灰岩岩溶发育随埋藏深度变化的关系。

第六章　煤矿底板突水的预测与防治

第一节　　底板水的研究意义及研究现状

一、底板水的研究意义

底板水问题，在我国的煤矿中非常突出、非常普遍，几乎涉及我国大部分煤田，包括华北、华南的大部分晚古生代煤田以及个别的中生代及新生代煤田。其涉及范围之广，水量之大，危害之严重，实为世界所罕见。这是我国煤田水文地质条件的显著特征之一，也是我国煤田水文地质科学上主要研究课题之一。

在我国北方广泛分布的石炭二叠纪煤田普遍受到煤层底板下伏奥陶系岩溶含水层的威胁，尤以太行山东、南麓的焦作、鹤壁、峰峰、邢台、井陉矿区，燕山南麓的开滦矿区，山东的淄博、肥城、新汶、枣庄矿区，苏北的徐州矿区，河南的荥巩矿区，晋中的霍县矿区，渭北的韩城、澄合矿区等所受威胁更为严重。同时由于奥陶系灰岩与本溪组中的灰岩及太原组中的灰岩有密切的水力联系，故本溪组及太原组中的灰岩亦往往发生突水。随着各煤矿开采深度的日益增大，水头压力的日益增高，底板突水的次数也日益增多，突水量也日益增大，可以预料，随着开采深度的进一步加深，即使目前尚能安全开采的山西组煤层将来也会发生底板突水；目前尚未发生过底板突水或底板水危害较小的晋东南各矿区，晋中的太原、轩岗矿区，北京京东、京西矿区的石炭二叠系以及淮北、淮南矿区等，亦难保其长远安全；现有各生产矿井的太原组大量煤炭资源基本上还未敢开采，许多矿井的山西组煤层又已接近采完，开采太原组煤层已成为燃眉之急；为了保证经济建设对于能源的需要，一些新矿区也亟待开发。这些都意味着底板水问题将日趋严重，与底板水作斗争的任务也就日趋艰巨和至关重要了。

在我国南方广泛分布的晚二叠世龙潭煤系则普遍受到下伏早二叠世茅口灰岩水的威胁。尤以湘中的煤炭坝、恩口、斗笠山、桥头河、韶山、云浮桥等矿区，川东的南桐、松藻、古叙、华整山、天府等矿区，贵州的桐梓、贵阳矿区，广西的合山、扶绥矿区以及湖北的黄石矿区等受茅口灰岩水的威胁更为严重。其中南桐矿区的红岩煤矿茅口灰岩的最大突水量竟达 2.8万 m^3/h 之多，并从溶洞中冲出砂砾约 7270m^3，淤塞巷道 4130m。湘中的煤炭坝煤矿曾发生岩溶突水 14 次，其中全井淹没 4 次，局部淹井 10 次，单个突水点的水量也达 2900m^3/h。另外，由于高度岩溶化的茅口灰岩大片裸露地表或只有很薄的新生界松散层覆盖，煤矿排水时往往导致茅口灰岩露头区大片出现地表塌陷坑群，危及村庄、农田及一切地面设施和建筑的安全，因而更增加了问题的复杂性。

存在底板水问题的不仅是古生代煤田，某些中生代及新生代煤田也存在底板水问题。例如，河北的蔚县煤田，早侏罗世含煤地层直接超覆于奥陶系灰岩之上；云南昭通煤田的

诸葛营区，上第三系含煤地层的直接基底是高度岩溶化的阳新灰岩；先锋煤田上第三系含煤地层沉积于灯影灰岩之上；小龙潭煤田上第三系含煤地层的沉积基底为中三叠统灰岩。这些煤田都程度不同地存在底板岩溶水的威胁。吉林沿边地区的凉水煤田则存在基底砾岩水问题。

还有些煤田或煤层，既存在顶板水问题，又存在底板水问题。例如华北的太原组及本溪组中的煤层，华南的梁山组及武家坪组中的煤层以及湖南北部、四川东部、贵州中部的龙潭煤系中的煤层顶、底板由于都有石灰岩层，因而同时存在顶板水及底板水的双重威胁。吉林的杉松岗煤田虽然是早侏罗世陆相煤田，但由于逆掩断层的多次推覆，使奥陶系灰岩与早侏罗世煤层竟 7 次相互叠置，组成一个在剖面上貌似海陆交互相煤盆地，致使本来是陆相成因的煤层却同时受到顶、底板岩溶水的双重威胁。

据不完全统计，从 1955 年至 1985 年我国各煤矿共发生淹井 218 次，突水 769 次（包括老窑突水 189 次）。其中，岩溶突水量 $5\sim49m^3/min$ 的有 154 次，$50\sim99m^3/min$ 的有 27 次，$100\sim300m^3$ 的有 12 次，$300m^3$ 以上的有 5 次。从时间上来分析，1955 年至 1965 年的 11 年间，全国统配煤矿共发生淹井 62 次，突水 161 次，平均每年淹井 5.6 次，突水 14.6 次；1966 年至 1976 年的 11 年间，发生淹井 61 次，突水 238 次，平均每年淹井 5.5 次，突水 21.6 次；1977 年至 1983 年的 6 年间，发生淹井 48 次，突水 313 次，平均每年淹井 8 次，突水 52.1 次；1984 年发生淹井 11 次，突水未统计全，已知超过 33 次；1986 年截至 8 月止，已发生淹井 8 次。由此可见，从 50 年代至 80 年代，我国煤矿的淹井和突水频率均有大幅度上升之势。再从突水水量随时间的变化关系来看， 50～60 年代，一般突水水量只有 $5\sim20m^3/min$，个别曾达到 $50m^3/min$；60 年代以后上升到一般突水量为 $20\sim40m^3/min$，个别的达到 $100m^3/min$。因此，从 60 年代以后一般将小于 $5m^3/min$ 的涌水都算作突水了。

至 1984 年开滦范各庄突水量竟高达 $2053m^3/min$ 之多，成为世界矿井突水量之冠。

随着煤矿开采深度的增加，含水层的水头压力越来越高；以及煤田开发范围越来越广，被开拓的煤田的水文地质条件越来越复杂；突水和淹井的次数越来越多，水量也越来越大。我国各煤矿及有关部门在与顶板水及底板水的斗争中做了大量的工作，积累了丰富的经验，并取得了较大的成就。但这些经验和成就尚有待于正确地总结和推广，还存在一些问题尚有待于深入地研究和解决。在国外，许多研究者对煤矿底板水的预测与防治也做过不少研究，提出过一些理论与方法。但由于种种原因，这些理论与方法还存在一定的不足与局限性，尚难以用于解决我国煤矿复杂的底板水问题。直到目前为止，我们还找不到成熟的适合于我国情况的关于解决煤矿底板水的国外理论与方法可循。我们必须自力更生地进行摸索和解决。这是我国煤田水文地质工作者所面临的任务，也是本章所试图达到的目的。

二、底板水的研究史与研究现状

由于底板突水水量大，对采煤事业危害深，而且分布地区广，故近 40 多年来，国内外不少学者与专家对此进行了大量的研究，取得了许多有益的成果，并对底板突水的预测与防治提出了各自的方法，现将其中最主要的成果与方法简介如下。

1. 极限跨度法

1948 年原苏联斯列萨列夫（В.Я.Слесарев）在其《矿山岩石力学与矿井支护》一书中曾提出了计算巷道顶板稳定性的第一极限跨度 L_1 （即巷道顶板岩石中不出现张应力的最大跨度）公式

$$L_1 = \sqrt{\frac{\alpha K_0 h}{\gamma}} \tag{6-1}$$

此时巷道顶板的压力为顶板岩石重量，即

$$\gamma h = \frac{\alpha K_0}{L_1^2} h^2$$

对于底板承受水压 P 的巷道来说，底板所承受的向上压力为水压 P 与底板岩石重量 γh 之差 $P - \gamma h$。以 $P - \gamma h$ 代替上式中的 γh，即得

$$P = \frac{\alpha K_0 h}{L_1^2} h^2 + \gamma h$$

或

$$h_{安} = \frac{L_1(\sqrt{\gamma^2 L_1^2 + 8K_0 P} - \gamma L_1)}{4K_0} \tag{6-2}$$

公式（6－2）即为原苏联煤炭工业部门预测煤矿底板能否突水的常用公式。当巷道隔水底板的实际厚度 h实大于 h安时，则底板不会突水；反之，如 h实小于 h安时，就会突水。

公式（6－2）是以长度为无限大的巷道的第一极限跨度公式为基础而导出来的。如用于采区，还须按照斯列萨列夫的“等值跨度”概念，将式中的 L_1 换为等值跨度 L_e。

$$L_e = \frac{L_X L_Y}{L_X + L_Y} \tag{6-3}$$

公式（6－2）考虑了巷道底板下伏含水层的水头压力、巷道跨度、隔水底板的厚度、重量及强度的作用，试图从力学上解决底板突水的机制问题，这无疑是有益的。但从公式的推导过程中可知：公式（6－2）中没有考虑由巷道顶板传递给底板的支承压力的作用。其 $P = f(h)$ 曲线为一通过原点的抛物线。当水压 P 等于零时，所需安全厚度 h安亦等于零，不存在矿压对于底板的破坏厚度，这就与矿井所见的实际情况不符。虽然斯列萨列夫在他的书中已正确地描出了支承压力会经过二次侧向传递转而向上作用于底板，但可惜这一正确结论却未被纳入公式（6－2）中，致使该公式在实际中难以应用。

其次，公式（6－2）中的抗张强度 K_0 是一个不宜用完整岩石试件的实验室数据来代表的参数。我们知道，巷道或采区的底板是一个充满纵横交错的脆弱面（节理、裂隙、断层、层面）的大型岩体，其抗张强度要比完整岩石的抗张强度小得多。

2. 突水系数法

在本世纪 60 年代初期，我国的焦作、峰峰、淄博等煤矿区即已根据本矿区开采到一定深度时各矿井底板突水的实际资料总结出预测底板突水的经验公式——突水系数法。即

$$T = \frac{P(\text{MPa})}{h(\text{m})} \tag{6-4}$$

式中　T 为突水系数。当突水系数大于某一临界值 $T_{临}$ 时，就会发生底板突水； 反之，

则安全。随着各矿区岩石性质、开采深度及采煤方法的不同，临界突水系数亦各不相同。焦作矿区为 0.015～0.06MPa/m，峰峰矿区为 0.045～0.07MPa/m，淄博矿区为 0.04～0.1MPa/m。甚至同一矿区的不同矿井、同一矿井的不同开采水平的临界突水系数亦不尽相同。

按照突水系数的定义，临界水压与底板隔水层临界厚度是成正比关系，为一通过坐标原点的直线。但大量的实际突水资料已经证明，临界水压与隔水底板临界厚度的关系是一条不通过原点的二次抛物线，不是直线。此抛物线上$\frac{P}{h}$值是不断变化的，根本不存在固定不变的所谓突水系数。如果硬要在曲线上取某点的$\frac{P}{h}$值作为“突水系数”，则该点的“突水系数”只能代表该点，或至多也只能近似地代表该点附近的一小段曲线的斜率，亦即只能近似地代表某一矿井或某一矿区的某一开采水平而且隔水底板厚度变化不大时的情况，并无普遍意义。各矿区根据实际突水资料所统计出来的突水系数的变化范围之所以如此之大，用以预测突水之所以如此之不准确，其原因就在于此。

同时，突水系数所考虑的仅仅是水压与隔水底板厚度的关系，而对于控制底板突水的一些其他重要因素，如底板岩石性质、矿山压力及采区尺寸和形状等，均未予考虑。这就很难以反映底板突水的实际规律。

在底板突水规律尚未被人们认识以前，突水系数法在我国某些矿区曾起过一些有益的作用，也为进一步研究和认识底板突水规律走出了可贵的第一步。但时至底板突水规律已被基本认识的今天，就不宜继续采用了。

近年来，又有人将突水系数法加以改良，使之成为如下形式：

$$T=\frac{P}{h-h_0} \tag{6-5}$$

$$h_{安}>\frac{P}{T}+h_0 \tag{6-6}$$

式中　h_0——矿山压力对于底板的破坏厚度（m）。

这一改良方法，考虑了矿山压力对于底板的破坏，是其进步之处，但矿压的破坏厚度究竟是多少，如何具体确定，却未能提出预测或计算方法，需要根据各矿区的实际经验来确定。同时，仍然未能从根本上消除突水系数所固有的各项缺陷。

3. 隔水系数法

匈牙利在其《矿业安全规程》中规定用如下公式预测煤矿底板突水的危险性及计算防水岩柱：

$$\mu=\frac{\Sigma M\delta-a}{P} \tag{6-7}$$

式中　μ——单位隔水层厚度（m/atm）；

M——采区底板至含水层顶板之间的每种岩石的厚度（m）；

δ——每一种岩石与泥岩相比的等值系数（表 6-1）；

a——不可靠的相对隔水层厚度（m）；

P——水压（atm）。

公式（6-7）实际上是一种与前述突水系数法形式相反的隔水系数法。二者在本质上

并无多大差别。只不过后者将底板下的各种不同岩石通过等值系数换算为相当于泥岩的厚度并减去了不可靠的隔水层厚度而已。

表6－1　岩石与泥岩相比等值系数表

（匈牙利《矿业安全规程》）

岩　　性	等值系数δ
页岩、粘土质页岩、粘土、铝土、海相堆积的灰岩角砾岩	1.0
没有岩溶化的灰岩和泥灰岩	1.3
砂质页岩	0.8
煤（第三经福煤）	0.7
砂、碎石、砾石、岩溶化的石灰岩、泥沙、回采松动带	0.0

匈牙利的《矿业安全规程》中还认为，等值隔水层的确定是不可靠的，所以需要考虑以下的 a 值：

①在确定防水矿柱时（相邻矿井之间共同边界上所标定的矿柱例外），a 值取 10m；

②在确定主要岩溶含水层的相对隔水层厚度时，a 值取 8m；

③其他情况下，a 值取 5m。

匈牙利的方法虽然对底板隔水层的岩性进行分类和换算，并减去 5～10m 不可靠厚度以加大安全程度，似乎比前述突水系数法考虑得仔细一些，但毕竟由于它：①未能研究底板突水的力学机制；②没有全面考虑控制底板突水的主要因素，既未考虑矿压对底板的作用，又未考虑回采悬顶区的大小及形状对底板突水的影响。因而使此方法也和前述突水系数法一样难以反映底板突水的客观规律，一样难以对底板突水作出准确的预测与预防。从匈牙利都道尔矿和巴林科矿实际突水的 μ 值的变化范围竟由 0～6 这一点，就可说明用 μ 值预测底板突水的准确性难以令人满意。匈牙利虽取 μ 值等于 2 时为安全界限，但实际上在都道尔矿和巴林科矿，当 μ 值大到 3～6 时仍然发生底板突水。

4.P，h 临界曲线法

1976 年本章作者葛亮涛在淄博矿务局的协助下，对淄博矿区各煤矿的底板突水情况进行了详细的调查，在大量的实际资料的基础上初步掌握了淄博矿区各煤矿底板突水的基本规律。提出了 P、h 临界曲线、突水区及安全区等概念以及预测与防治底板突水的初步意见。同时还指出了矿山压力对底板突水的作用以及矿压对底板破坏带的存在；采煤工作面长度及周期的步距对底板突水的影响等。次年（1977 年）又以煤炭工作组及淄博矿务局的名义发表了《淄博矿区采区底板突水规律及防治》一文，对上述问题进行了较详细的阐述，为研究煤矿底板突水，开避了一个新的途径。随后又在峰峰矿务局的协助下对峰峰矿区进行了初步调查，发现该矿区与淄博矿区存在共同的规律。于是进一步深入研究，于

1987年又发表了《淄博煤矿区底鼓水的岩体力学机制》一文，首次指出了“煤矿底鼓水，既是一个水文地质问题，也是一个工程地质问题，要想解决这个问题，除了应进行水文地质条件分析外，还应进行岩体力学分析。”并首次认为煤矿采区底板“是一个厚度为 h 的四边固定的由复杂岩石组成的矩形板。”在此基础上导出了如下“采区底板最易破裂点的临界水压方程式”:

$$P_0 = 2K_0\left(\frac{1}{L_x^2} + \frac{1}{L_y^1}\right)h^2 + (\gamma - 1)h - Q \tag{6-8}$$

式中 P_0——临界水头压力（MPa）;

K_0——底板岩体最小抗张强度（MPa）;

L_x——采区走向跨度，亦即采煤工作面至冒落物压实点的距离（m）;

L_y——采区倾斜跨度，亦即工作面长度（m）;

h——相对隔水底板厚度（m）;

γ——底板岩体平均容重（t/m^3）;

Q——矿山压力（指向上作用于悬顶区底板的二次侧压力及地应力）（MPa）。

当其他条件不变时，临界水压 P_0 与隔水底板厚度 h 的关系可用如下简单的抛物线方程表示：

$$P = ah^2 + bh - c \tag{6-9}$$

式中 $a = 2K_0\left(\frac{1}{L_x^2} + \frac{1}{L_y^2}\right)$

$b = \gamma - 1$

$c = Q$

式（6-9）在 P，h 坐标上为一不通过原点，在 P 轴上有负截距 c 的抛物线（图 6-1）。

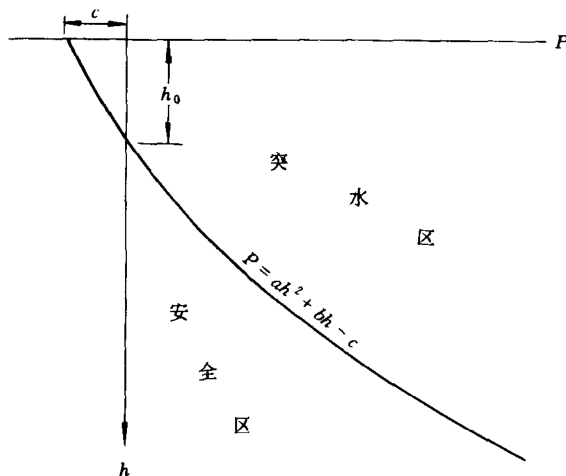


图6-1 临界水压与隔水底板厚度的关系

在图 6-9 中：

①凡是 P，h 坐标位于抛物线的右上方的采区，均可能发生底鼓、破裂、但突水现象

只能发生在 h 轴的右边，左边则只破裂而不突水； P，h 坐标位于左下方的采区，既不会发生底鼓和破裂，也不会突水。

②图 6－9 还表明采区底板的所以发生底鼓、破裂的突水，是水头压力与矿山压力共同作用的结果；P 轴上的负截距 c，即为矿山压力 Q （包括地应力）之值。当 $P=0$ 时，$h=h_0$，h_0 即为矿山压力对底板的破坏深度 m)。

③从式（6－8）可以看出：当其它条件相同时， h_0 是随 K_0 的降低而呈直线减小。故底板突水多发生破碎带及断层附近。

④式（6－9）还表明：h_0 是随着 L_x 或 L_y 的增大，而是似双曲线关系减小的，故改变采煤方法，缩小悬顶区跨度，可使临界曲线向右上方移动，扩大安全区，缩小突水区，将部分可能突水的采区，转化为不突水。

⑤式（6－9）及图 6－1 可以起到预测新采区能否突水、指导合理降压、合理留设防水煤柱、指导采煤方法、指导注浆止水等作用。

以上各项规律和用途都已被淄博矿区各矿的大量实际资料所证实。其它矿区也尚未发现例外。

为了便于式（6－9）及图 6－1 的实际应用。作者还提出了用 $P+c=bh$ 标准曲线图与矿井突水实际材料图相拟合的非常简便的图解法。

作者的这个方法，较之中外已往的各种方法，考虑的因素最多，最全，最符合实际，理论上也较新、较严，故具有更多的优越性。然而也存在有不足之处：①式（6－8）是以假设采区底板为水平产状时而导出来的。因而只宜应用于水平或近似水平的采区。如用于倾斜采区、则水压 P 的取值方法及系数 b 尚须予以修正；②式（6－8）、式（6－9）在理论上只适用于第一次周期采区距离与工作面长度大体相等时的情形。如相差较大，则系数 a 亦须予以修正。因此在本章中将重新予以推导。

5. 下三带说

近年来有些人提出了“下三带”的说法。即将煤层至下伏含水层之间的相对隔水层分为三带，上部为矿压破坏带；底部为原始导升带，有人则称为水压破坏带；中间为有效防护带。当原始导升带或水压破坏带高度与矿压破坏带连通时，则发生底板突水，否则安全。笔者认为：矿压破坏带无疑是存在的，但所提的计算公式，在理论上尚不够成熟，实际应用也比较困难。至于所谓“原始导升带”，实际上应该是一个裂隙含水层或裂隙含水带，大家都知道，如果一裂隙含水层或含水带直接覆于岩溶含水层之上或直接位于岩溶含水层之下，则其中的地下水必然与岩溶含水层有密切的水力联系。如果将直接覆于岩溶含水层层上的裂隙含水层（带）称为“原始导升带”，则那些直接位于岩溶含水层之下的裂隙含水层（带）是否也应该称为“原始导深带”或“原始下渗带”呢？至于有没有必要创立这样的新称呼，这是无关重要的。裂隙含水层（带）的渗透性能取决于裂隙的发育程度。当其裂隙很发育，渗透性能很大，在自然状态下（指未经采动影响的进一步破坏）的涌水量足以给矿井生产造成危害时，则此裂隙含水层（带）不宜作为相对隔水层看待，而应作为含水层或含水带，如其裂隙不很发育，其自然状态下的渗透性能不很大，只有当受采动影响进一步破坏后，其涌水量才能给矿井生产造成威胁时，则仍可视为隔水层。

在自然条件下，由于静力平衡，水压对于煤层底板（或含水层顶板）是不起破坏作用的。只有当煤层开采破坏了原有的静力平衡条件，而且煤层底板至下伏含水层顶板之间的

相对隔水层的总强度又不足抗衡水压和矿压的联合作用时，水压才能对上覆相对隔水层起破坏作用。但一旦产生破坏，则破坏裂缝由下往上不断延伸，而且越来越快（因为相对隔水层厚度越来越薄，强度越来越弱），直至与矿压破坏带相连通。只要载荷不变，决不会中途停止发展，而永久保留所谓“中间有效防护带”。只有当采煤工作面推进速度很快，水压破坏裂缝还未发展到矿压破坏带的底部以前，老顶即已冒落，使压力拱得到新的平衡时，水压破坏裂缝才会停止发展，中间有效防护带才会被永久保留下来。在一般情况下，只要底板一旦发生水压破坏，中间有效防护带是一个不断减薄，以至完全消失的很不稳定的暂时现象，很难作为可靠的防水屏障。

综合上述，目前虽有不少研究底板突水的理论与方法，都各有长短，研究深浅不一，但总的看来，还没有一种能真正反映煤层底板突水机制的理论与预测方法，还必须进一步研究。这就是本章下文探讨的目的。

第二节　控制煤矿底板突水的基本因素

煤矿底板突水是一个受多种因素影响的非常复杂的问题。它以地质条件（围岩性质、岩层组合、断裂、褶皱、倾角、埋藏深度及新构造运动等）为背景，以水文地质条件（含水层、隔水层、富水性、补给、径流及排泄条件，水头压力等）为基础，以人工开采条件（采区面积、形状、采矿方法等）为场合，同时受到地质场、流场、力场三种作用场的共同控制。三场中任一场的任一具体条件的变化，都影响到煤矿底板突水的差异。三场中众多条件的错综复杂的变化，构成了研究煤矿底板突水机制及预测方法的很大困难。然而任何复杂的事物总是有其固有规律的，众多矛盾中总有其主要矛盾与矛盾的主要方面。笔者从历年来我国各煤矿底板突水的大量实际资料研究中，认为控制煤矿底板突水最基本、最直接的因素有以下几种：

一、煤层底板下伏含水层的水头压力及富水性

众所周知，煤层底板下面有无含水层是是否存在底板突水问题的先决条件。但并不等于说，只要煤层底板下面存在含水层，就一定会发生突水，更不是每一地段都能发生突水。还应视含水层的水头压力大小及其富水性如何。

要使底板突水，下伏含水层必须有足够的水头压力。在采掘工程没有直接揭露含水层、导水断裂或导水陷落柱的情况下，只有当水头压力足以使采区隔水底板上鼓和破裂时，才能发生突水，否则就不会突水。因此，许多矿井在浅部开采、虽然已采到下伏承压含水层的水位以下，但水压还不大时，并未发生底板突水，当开采到一定深度，水压增到一定数值后，就不断发生突水（图 6－2）。

底板突水还与下伏含水层的富水性及其非均匀性密切相关。例如岩溶含水层的岩溶发育及其富水性往往极不均一。有的地段岩溶非常发育，含水非常丰富，往往以主要径流带或地下暗河的形式出现；有的地段则岩溶极不发育，含水非常微弱或不含水（此时已变为相对隔水层或隔水层）。显然，前者在一定的水头压力下可能发生底板突水，而且岩溶愈发育，富水性愈强，则突水量亦大；后者将不会发生突水，即使突水，水量也不会大，以至小到不会引起人们的注意。

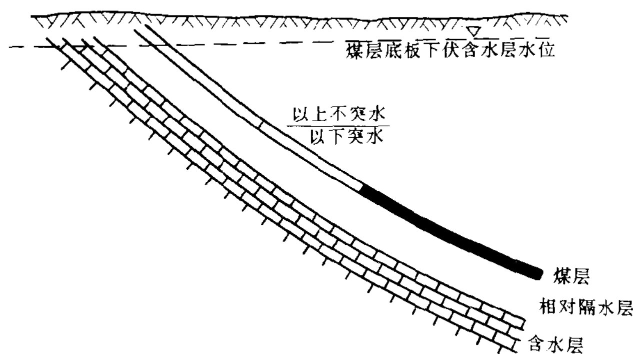


图 6-2　矿井突水与水头压力的关系示意图

二、矿山压力

在煤层未开采前，煤层及其顶板以上的岩体的重量是均匀地压在煤层底板上的。当煤层开采后，老顶尚未充分冒落以前，则在采煤工作面的后方一定距离内形成一个悬顶区。此悬顶区上方的岩体重量就不能直接压在采区底板上，而改由悬顶区的四壁及其外围岩层承担。在壁的支承下，于悬顶的上方形成一个近似半椭球形的压力拱，以反抗其上方岩柱的压力（岩体重量）。压力拱上方的岩体重量以及拱内尚未冒落的岩体重量都附加给四壁承担。四壁所承受的这种附加压力，称之为支承压力。四壁在原有上方岩柱压力的基础上又增加了这种附加压力，使四壁周围一定距离内的岩体中形成增压带（图 6-3）。

四壁增压带中的压力垂向传给煤层底板后一部分向悬顶区底板作侧向传递，成为底板的侧压力。又经再次侧向传递，使其转而向上作用于悬顶区底板，成为促使底板上鼓和破坏的作用力之一。另一部分则向四周及深部传递。

随着采煤工作面的向前推进，悬顶区及其上方的压力拱不断扩大，悬顶区上方的岩石体积和重量也不断增加，当压力拱内的岩体重量和悬顶区顶板岩层的跨度增加到某一限度，足以破坏顶板岩层的连接力时，则发生过大规模老顶陷落和周期来压。此时支承压力及其二次侧压力并急剧增大，在水压的共同作用下，使底板上鼓、破裂而突水。故大多数底板突水都发生在周期来压的时候，而且往往沿工作面的壁根、溜子道及回风道煤柱的壁根，发生平行于壁根的冒水裂隙。

此外，由于采区这个低压自由空间的存在，必然会引起四周的地应力（主要是构造应力）向采区的顶、底板及四壁集中。其中集中到顶板及四壁的地应力与增压带中的支撑压力合在一起传递给底板，集中到底板的部分则与顶板转嫁来的支承压力的二次侧压力合在一起，共同向上作用于采区底板，使采区底板上鼓和破裂。

支承压力和地应力，二者关系密切，在一定条件下能互相转化，对于采区底板的破坏作用亦完全一致，故我们可统称之为矿山压力。

三、煤层底板与下伏含水层顶板之间的相对隔水层厚度及岩石性质

采区底板能否突水，还取决于隔水底板的强度和重量是否足以抵抗住下伏含水层的水

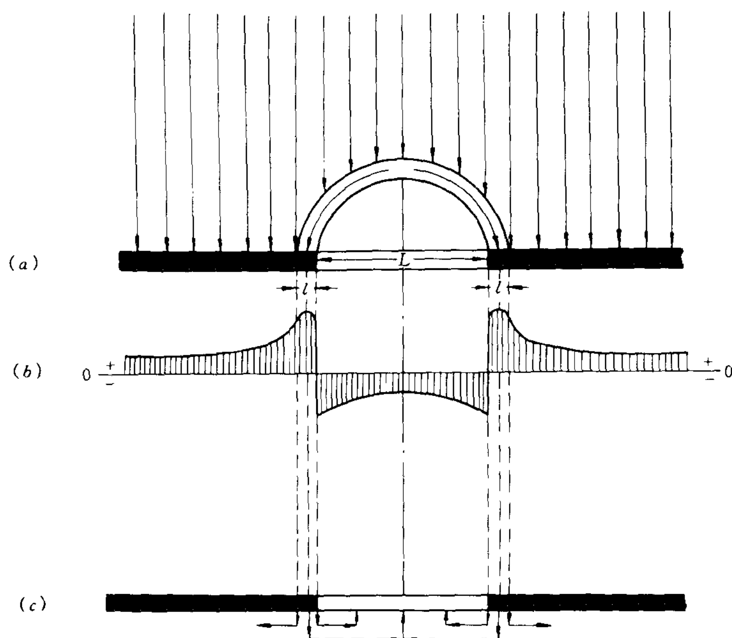


图6－3 矿山压力示意图

(第一次周期来压前)

a－采区顶板压力示意图； b－采区底板压力分布示意图； c－支撑压力侧传递示意图

头压力及矿山压力，而隔水底板的强度和重量又取决于其厚度及岩石性质。隔水底板的厚度愈大，岩性愈坚硬、愈完整，则抵抗水压和矿压的能力愈强，愈不易发生突水；反之，厚度愈小，岩性愈松软、愈破碎，则抵抗水压和矿压的能力愈弱，愈易发生突水。故采区底板突水都发生在底板隔水层厚度较薄、岩性较松软或较破碎的地方。

例如许多矿井开采倾斜煤层组时，在同一水平、同一水压、其他条件均相同的条件下，开采上层煤时并未突水，开采下层煤时就发生突水，这显然是由于隔水层厚度减薄之所致（图 6－4）。

又如淄博矿区的的埠村煤矿的隔水底板主要为粘土质粉砂岩和页岩组成，岩性比较松软；黑山矿的隔水底板中，坚硬致密的硅质砂岩占总厚的 64％ 。在二者厚度同样为 35m，其他条件也相同的情况下，埠村矿在水压为 1.2MPa 时，就能发生突水，而黑山矿则在水压高达 3.0MPa 时仍属安全。塞里、洪山、石谷、夏庄各矿的岩性条件介于埠村与黑山之间，在隔水层厚度及其他条件均相同的条件下，其发生底板突水的最低水压值亦介于二者之间。

煤矿底板岩体的强度一般要远低于实验室的岩石强度。这不仅是由于底板岩体中含有众多的纵横交错的脆弱面（层理、节理、裂隙以至断层），而且还在于煤矿底板岩体经常呈饱水状态。大家都知道、岩石在饱水状态下其强度要比干燥或半干燥状态下低得多（图 6－5），尤其泥岩及泥质胶结的岩石，其强度与含水率的关系，更为突出。

因此，我们研究煤矿底板岩体的强度时，决不能简单地用实验室试验的岩石强度来代

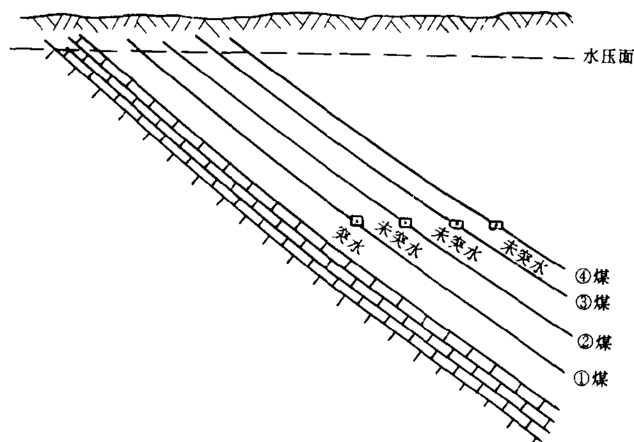


图6－4　矿井突水与底板隔水层厚度的关系示意图

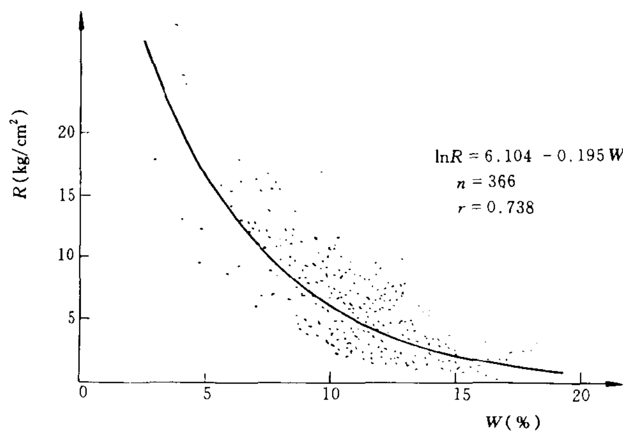


图6－5　抗压强度与含水率关系
（霍林河粗砂岩）

替，更不能用干燥或半干燥状态下的强度来代替。

四、地质构造

地质构造是决定底板突水的具体地点的最重要的因素之一。大量的实际资料表明，底板突水绝大多数都发生在断层及其附近。另一些突水点虽未见明显的断层，但其突水形式毫无例外地是首先发生底鼓，然后沿节理面产生张开裂隙，并冒水冒泡（CO_2）。说明这些突水点也是沿隔水底板的构造脆弱面发生的，只不过这些脆弱面没有像断层那样有显著的位移而已。

向斜轴部、倾伏背斜的端点以及断层交叉点，一般也容易发生突水，这也是由于这些地点的构造裂隙比较发育，隔水底板的强度降低之故。

断层对于底板突水的作用，除了断层带及其两侧岩层中产生许多脆弱面（裂隙及羽毛状小断层）从而降低了隔水底板的强度外，还在于断层的位移能导致隔水底板的厚度减薄或缺失，使其降低或失去抵抗水压及矿压的能力。故有的底板断层突水都发生在正断层的上盘或逆断层的下盘（图 6－6）。

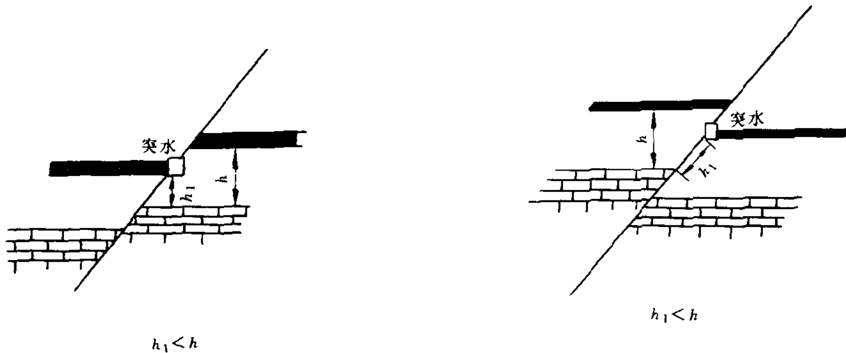


图6－6 断层带导致隔水层厚度减薄及易发生突水部位

虽然底板突水大都发生在断层（或断层附近）或裂隙带上，但一般都是在水压标高超过巷道或采区遇到断层或裂隙带的标高数十米乃至数百米时才发生突水的（图 6－7）；水压较小时，除了巷道直接揭露断层另一侧的含水层外，一般都未曾突水。说明这些断层面或断层带尚有一定的抵抗水压的能力，亦即仍有一定的隔水性能和一定的力学强度。只不过是其强度要比完整岩石的强度低得多而已。只有当下伏含水层的水头压力足以破坏断层面或断层带的强度时，才能发生突水。

但也有一些两盘均为坚硬岩层的断层以及现在仍在活动的断层，其断层带中具有导水空隙，能使下伏含水层中的水沿断层带上升到某一高度，这就等于缩短工作面或巷道至含水层的距离，使底板更容易发生突水。对这样的断层就必须加大超前探水的距离，进行注浆处理留设足够的防水煤柱，才能确保安全。

断层和裂隙对于煤矿底板突水的作用，还在于这些断层和裂隙在水的作用下，充填物逐渐被冲刷、溶解、扩大和掏空，以致大量突水。故当巷道或采煤工作面刚揭露某些小断层或裂隙时往往只有小股黄泥水渗出，然后水量逐渐增大，水色变清，最后大量突水，并冲上大小石块。这种现象，在煤矿井下屡见不鲜

在构造复杂、断层众多的矿区（如河北省的井陉矿区），煤层底板岩层裂隙异常发育，形成裂隙含水层，而且直接覆于下伏岩溶含水层之上，与岩溶含水层有密切的水力联系（有人将这个裂隙含水层称为原始导升带），煤层开采时，此裂隙含水层不仅能以固有的渗透性能直接向矿井充水，而且由于其岩体强度极低，在水压和矿压的共同作用下，极易进一步破坏，使透水能力急剧增大，而导致岩溶水大量突入矿井。

根据煤层底板的岩性、构造及其岩体强度，可将煤层底板的隔水能力分为四类：

（1）坚硬完整底板。这类底板由坚硬一半坚硬岩石组成，构造简单，断层稀少，裂隙不很发育，岩体抗张强度（注意不是岩石抗张强度）常大于 1MPa 以上，隔水能力较强。

（2）中常底板。由坚硬一半坚硬岩石组成，断层、构造均属中等，裂隙发育，岩体抗张强度介于 0.5～0.8MPa 之间，隔水能力中等。如淄博的黑山矿、夏庄矿、石谷矿及峰

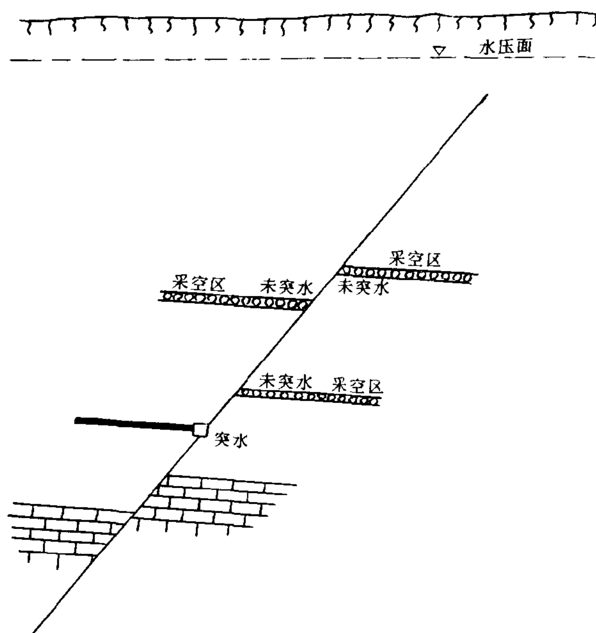


图6－7　断层带抵抗水头压力的能力

峰矿区各矿。

(3) 碎裂底板。由坚硬裂隙岩石组成，构造复杂，断层密集，拉不开大工作面、小断层及裂隙异常发育，这类底板本身就是一个裂隙含水层，含水性极不均一，且与下伏岩溶含水层有密切的水力联系。其岩体抗张强度小于 0.5MPa。这类底板极易发生突水。必须加强超前探水，并注浆加固，才能安全开采。如河北的井陉矿区各矿及河南焦作矿区西部各矿。

(4) 松软底板。这类底板由泥岩、砂质泥岩及疏松砂岩组成。褐煤矿区多具此类底板。底板为泥质岩层时，矿井开采时易产生底鼓、巷道变形。如辽宁的沈北矿区各矿。如底板下伏有流砂层或含水层时，易发生突砂、突水。如吉林的舒兰矿区各矿。

地震也是一种能导致煤矿底板突水的构造作用。它不仅可以诱发原有断层移动、张开而突水，而且还能产生新的导水断裂。 1976 年唐山地震后，曾使开滦各矿的涌水量显著增加，就是一个例子。

五、岩溶陷落柱

许多煤田下伏岩溶含水层的岩溶陷落柱可高达数十米乃至数百米。这些陷落柱不仅其岩体强度要比正常岩体的强度小得多，较易突水，而且还有些尚在发展中的陷落柱，其边缘具有较大的导水空隙，使下伏含水层中的水沿陷落柱上升。当采掘工程遇到或接近这种陷落柱时，就发生大量突水。 1984 年震惊中外的开滦范各庄矿大突水就是一个突出的例子。该陷落柱的直径 46～67m ，其顶部尚有 8～32m 尚未陷落的空间，其下部（14 煤以下）垂直于晚古生代地层的层面，其上部（14 煤以上）垂直于现代地面，其周围具有巨

大的空隙。这些特征都表明该陷落柱在海西期即已发生，历经印支、燕山、喜马拉雅期至今仍在发展，但尚未达到新生代地层底板。当掘进到该陷落柱附近时，即发生突水，其突水量竟达 $2053m^3/min$ 之多。还有些正在发展中的陷落柱，尚未发展到煤层底板，而是隐伏于煤层底板下面很近的距离内，使隔水底板大为减薄。当煤层开采或掘进该处时便发生突水。至于早已停止发展的古陷落柱，则由于已经过长时间的压密、充填和再胶结作用，不存在能直接导水的空隙，故在井下实见时很少突水。

对于没有直接裸露地表的岩溶陷落柱，在煤炭资源地质勘探阶段用钻探手段是难以查清的，往往等到煤层开拓和开采时才能发现。至于隐伏于煤层底板下面的陷落柱，即使在煤层开采时，甚至发生了突水，也不易发现其存在。故在有岩溶陷落柱的矿区采煤时，必须事先采用新的物探手段（如瞬变电磁法）或高精度重力法、地电仪法等予以查清或加大超前探水的距离，便其大于安全隔水厚度，方保无虞。

六、采煤方法

许多煤矿的实践经验证明：凡是掘进时就突水的地段，回采时必然突水；而有些回采时突水的采区在掘进时却未曾发生突水；至于安全回采的采区在掘进时则更是安全。一些有突水危险的采区，如改用短工作面开采，条带状开采房柱式开采或充填开采，就往往可以避免或减少突水。这些都说明底板突水与悬顶区空间的大小具有密切的关系。这是由于悬顶区空间越大，矿压就越大，隔水底板的跨度也越大，抵抗水压和矿压的能力就越弱，就越容易突水；反之，就越安全。

从上述可知：煤矿底板突水与不突水，都不是偶然的，都有其必然规律。突水有突水的因素，不突水有不突水的因素（即安全因素）。以下伏含水层的水头压力和矿山压力为一方的突水因素，是破坏隔水底板完整，促使底鼓、破裂和突水的作用力；以隔水底板的强度和重力为一方的安全因素，则是维护底板完整，抑制底鼓和突水的反作用力。当反作用力足以平衡作用力时，则底板保持稳定，不会发生底鼓和突水；反之，当反作用力不足以平衡作用力时，则底板就会产生底鼓、破裂和突水。至于下伏含水层的岩溶发育情况、水力联通性、构造破坏、岩溶陷落柱及采煤方法等，则决定了这种矛盾斗争的具体条件和可能突水的具体地点。当某一具体地点的作用力远远大于反作用力时，则该处将立即突水；如作用力与反作用力处于极限平衡状态（即临界状态）时，则需有一定的诱发条件（如放炮、冒顶、地震、冲击地压、瓦斯突出或爆炸等动力震动作用）才能突水，或由于蠕变作用使底板岩体强度降低时才突水，故往往有延迟突水现象，或者等到下次周期来压时才突水。

以上就是煤矿底板突水与不突水、何处突水和何时突水全部问题的实质。

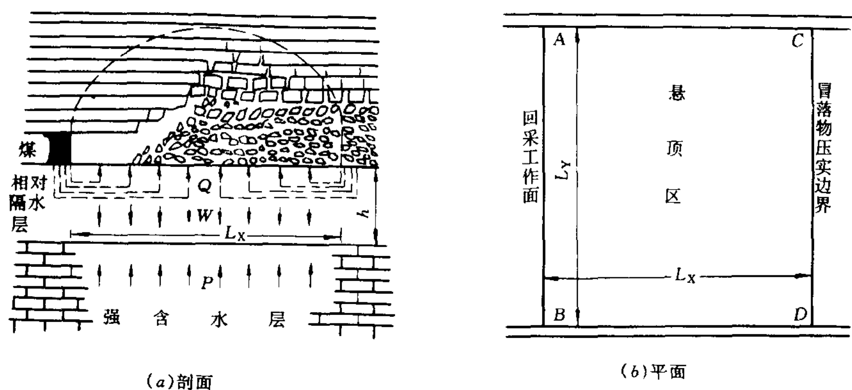
第三节　煤矿底板突水的岩体力学机制

从前述可知：煤矿底板突水，既是一个水文地质问题，也是一个岩体力学问题，要想正确研究和解决煤矿底板突水问题，除了应详细研究煤矿的水文地质条件以外，还必须从岩体力学观点研究其突水机制。

现以一个回采工作面为例来进行岩体力学分析。

一、载荷及分布

设 $ABCD$ 为采煤工作面与老顶冒落区之间的矩形悬顶区（图 6－8）。AB 为采煤工作面，其长度为 L_Y（m），CD 为老顶冒落区的边界（指冒落物被压实的边界）； AB 至 CD 的距离为 L_X（m），其值一般应相当于第一次周期来压的距离。采区底板至下伏含水层顶板的距离（亦即相对隔水层的厚度）为 h（m）。此矩形悬顶区的底板四周，都是被紧密地压在上下岩层之间，可以认为是固定的。故 $ABCD$ 可以认为是一个厚度为 h 的四边固定的由具有许多脆弱面（笋理、裂隙、层面、小断层）的复杂岩石组成的矩形板。



(a)剖面　　(b)平面

图 6－8　煤层采动后底板的受力状况

由前述可知，作用于此矩形板的主要作用力有：

①采区底板下伏含水层的水头压力；

②矿山压力及地应力；

③底板与下伏含水层之间的相对隔水层本身的重力；

④相对隔水层内部的速结力。

其他如顶板冒落时岩块对底板的冲击力，采煤机械或放炮的震动力等，只能在一定的条件下起着某种诱发作用，并非主要的控制因素，可暂不计及。

设向上的作用力为正值，向下的为负值。

1. 水压 P

下伏含水层的水头压力 P（MPa）是一种沿采区倾斜下方大而上方小的正向横向梯形载荷。设采区下界的水压为 P_1，上界的水压为 P_2。如以采区的左下角为坐标原点（图 6－9），则采区底板底面任一点（x，y）的载荷为：

$$
\begin{aligned}
P &= P_1 - \frac{P_1 - P_2}{L_Y} \cdot y \\
&= P_1 - y\frac{(H_1 - H_2)\gamma_{水}}{L_Y} \\
&= P - \gamma_{水} y\sin\alpha \\
&= P_1 - y\sin\alpha
\end{aligned}
\tag{6-10}
$$

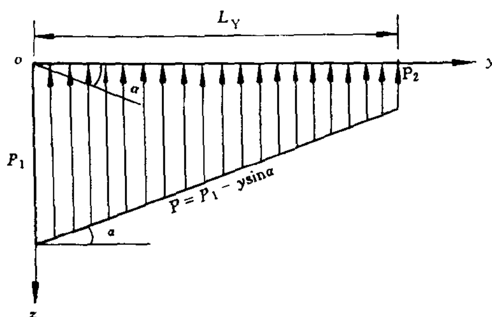


图 6－9　下伏含水层水头压力的分布状况

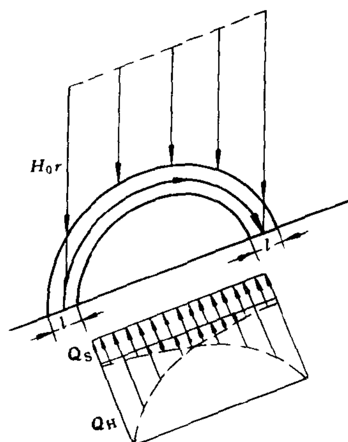


图 6－10　悬顶区底板所承受的矿山压力分布状况

式中　H_1，H_2——分别为采区底板下界及上界的埋藏深度（m）；

$\gamma_水$——水的容重（t/m³），一般可以认为等于 1；

α——煤层（或底板）倾角。

2．矿山压力 Q

这里所指的矿山压力 Q（MPa），包括①悬顶区四壁增压带中的压力传到底板后再转传给悬顶区底板的二次侧压力 Q_H 及②集中到悬顶区底板的地应力（主要是构造应力）Q_S。即

$$Q = Q_H + Q_S \tag{6-11}$$

前面已经提到，增压带中的压力来自增压带上方岩柱的重量。

但由于上方岩柱与其周围岩层之间具有连结力（对于松散地层则为摩擦力），使上方岩柱的重量不可能完全自由地全部压在增压拱上，而只能有部分重量由增压拱负担。另一部分则通过四周岩层传往深部。如果以 H_0 表示增压拱所负担的上方岩柱的有效高度，则增压拱所负担的上方岩柱的有效总重量

$$Q_W = H_0\gamma_顶(L_X + 2l)(L_Y + 2l)\cos\alpha \quad (t)$$

式中　$\gamma_顶$——顶板上方岩柱的平均容重（t/m³）；

l——增压带横切面宽度（m）（参阅图 6－3）。

悬顶区四壁增压带中单位面积支撑压力

$$Q = \frac{H_0\gamma_顶(L_X + 2l)(L_Y + 2l)}{2l(L_X + l + L_Y + l)}\cos\alpha$$

$$= H_0\gamma_顶\left(1 + \frac{L_X L_Y}{2l(L_X + L_Y + 2l)}\right)\cos\alpha$$

式中　$L_X L_Y$ 为悬顶区的面积，$2l$（$L_X + L_Y + 2l$）为四壁增压带的总截面积。二者之比，可称之为“增压系数”，以 η 表示，即

$$\eta = \frac{L_X L_Y}{2l(L_X + L_Y + 2l)} \tag{6-12}$$

故有

$$Q_H = H_0\gamma_{顶}(1+\eta)\cos\alpha$$

四壁增压带中的支撑压力 Q_H 垂向传到底板后又转向低压中心——悬顶区底板作侧向传递，然后再次侧向传递转而向上作用于悬顶区底板。

此向上作用于悬顶区底板的力 Q_H 应为

$$Q_H = H_0\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta)\cos\alpha \tag{6-13}$$

式中 ζ——底板岩石的侧压系数，其值为

$$\zeta = \frac{\mu}{1-\mu}$$

或

$$\zeta = \tan^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right) \tag{6-14}$$

式中 μ——底板岩石的泊桑比；

φ——底板岩石的内摩擦角。

每一壁传给悬顶区底板的二次侧压力都是在壁根处最大，离壁根愈远愈小，但经四壁传递向中间的力四次叠加的结果，可大致认为是正向均布载荷（图 6-10）。至于地应力 Q_S，亦可认为是正向均布载荷。故 Q 亦为正向均布载荷。

将式（6-13）代入式（6-11），得总的矿山压力

$$Q = H_0\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta)\cos\alpha + Q_S \tag{6-15}$$

3. 隔水底板自身的重力 W

$$W = h\gamma_{底}\cos\alpha \tag{6-16}$$

式中 $\gamma_{底}$ 为底板岩体的平均容重（t/m³）。显然，W 为负向均布载荷（MPa）。

4. 作用于悬顶区底板的总作用力

$$F = P + Q - W \tag{6-17}$$

作用于悬顶区倾斜下边（$y=0$）任一点的总作用力

$$\begin{aligned} F_1 &= P_1 + Q - W \\ &= P_1 + H_0\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta)\cos\alpha + Q_S - h\gamma_{底}\cos\alpha \end{aligned} \tag{6-18}$$

作用于悬顶任一点（x, y）的总作用力

$$\begin{aligned} F_{x,y} &= P_1 - y\sin\alpha + H_0\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta)\cos\alpha + Q_S - \gamma_{底}\cos\alpha \\ &= F_1 - y\sin\alpha \end{aligned} \tag{6-19}$$

显然 F 为一横向梯形载荷，其梯度为 $\sin\alpha$。

二、“均质弱板”假设及其力学平衡方程

众所周知，四边固定的矩形薄板在弹性力学中已有所研究。但仅限于承受均布载荷的均质板，而且只能得出其近似解。其精确解，目前还是许多数学力学家的研究对象。至于承受非均布载荷的非均质板，目前还未敢有人问津。而煤矿底板则又是一个承受非均布载荷的极不均质的裂隙厚板，与均质薄板的性质大相径庭。这就给问题的解决，带来了更大的困难。

笔者认为，要想解决这个问题，还必须从煤矿底板的实际情况来分析，大量的实际资料表明，所有煤矿底板突水都是发生在底板最薄弱、应力最大的地方。底板薄弱点的位置是静止的，而采场最大应力点的位置则是随着采煤工作面的前进而不断向前推移的。移动的最大应力点与静止的底板薄弱点相会合，就发生底板突水（当然底板下面要有高压含水层），这是一个不可否认的事实。而我们研究底板突水的目的，又在于预测和防治，只要我们能预测出底板能突水，何时何地突水，我们就可以因地制宜地采取防治措施和对策。因此，我们只须研究煤矿底板最薄弱的地方与采场应力最大的地方以及它们相会合的条件，即可达到目的，而不必详细研究底板中每一点的具体应力状况。这样一来，问题就大大简化了。

在矿山岩石的各项强度指标中以抗张强度为最低。一般仅为抗压强度的 1/10 或更低，岩体的抗张强度又远小于岩石的抗张强度。如含有断层破碎带、陷落柱等，则更是如此。隔水底板之所以破裂和突水，首先是由于底板岩体抗张强度不够而张应力所拉破，首先沿脆弱面（断层带、裂隙带、陷落柱等）破裂，因为这些脆弱面的岩体抗张强度最低。所以我们研究采场底板破裂时，只须研究底板岩体最小抗张强度。当采场所产生的最大应力点与底板岩体的最小抗张强度点相会合，而且最大应力大于最小抗张强度时，底板就会破裂和突水，反之则安全。故大多数底板突水都发生在断层带附近。如果我们以采场底板最弱点在外力作用下产生应力集中而破坏时的岩体最小抗张强度 K_0 作为整个底板的强度，将本来强度极不均一的采场底板简化为一个强度等于底板最弱点在外力作用下的岩体最小抗张强度 K_0 的理想的‘均质弱板’(图 6－11)，则此“均质弱板”中任一点在外力作用下所产生的应力值，应与采区底板最弱点在同样的外力作用下而产生的应力值相同或近似。然后将载荷加上去，研究其应力分布，找出其最大应力点。此最大应力点在理想的“均质弱板”中所产生的力学作用，应与采区底板中最弱点在与采场最大应力点相会合时的力学作用相同或近似。如此理想的“均质弱板”能够承受此最大应力而不至进一步破裂，则采区底板将不会突水，否则会发生突水。问题就可以获得解决或基本解决了。

现在来研究一下四边固定的承受横向梯形载荷的矩形的理想的“均质弱板”的力学计

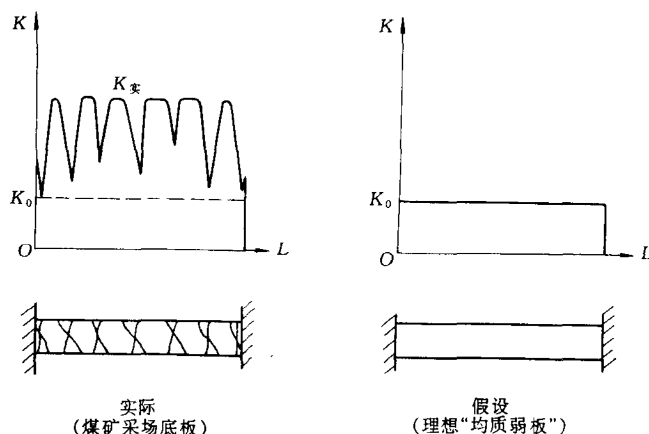


图 6－11　煤矿采场底板假设为‘均质弱板’示意图

算问题。

前面已经提到，承受非均布载荷的四边固定的矩形板，目前在弹性力学中尚难以解决，笔者鉴于矿山岩石的复杂性与采矿工程的实际需要，认为用结构力学的方法，既可以避免弹性力学计算的困难，又可以满足采矿工程的要求。现将方法介绍如下：

参照结构力学的方法，四边固定的矩形板可视为由许多四端固定的十字梁交织而成。矩形板中任一点的载荷可视为通过该点的 X 梁与 Y 梁在该点的载荷的叠加（图 6－12)。亦即将矩形板中每一点的载荷 F 都分成 F_X 及 F_Y 两部分，F_X 由 X 梁负担；F_Y 则由 Y 梁负担。对于承受横向梯形载荷的矩形板来说，在 X 方向为均布载荷，在 Y 方向则为梯形载荷。故有

$$F = F_X + F_Y \tag{6-20}$$

$$F_1 = F_{X1} + F_{Y1}$$

$$F_X = F_{X1} - y\tan\beta_X \tag{6-21}$$

$$F_Y = F_{Y1} - y\tan\beta_Y \tag{6-22}$$

式中 $\tan\beta_X$ 及 $\tan\beta_Y$ 分别为 F_X 及 F_Y 在 y 方向的变化梯度（MPa/m)。

由于

$$F = F_1 - y\sin\alpha$$

及

$$\begin{aligned} F &= F_X + F_Y \\ &= F_{X1} - y\tan\beta_X + F_{Y1} - y\tan\beta_Y \\ &= F_{X1} + F_{Y1} - y(\tan\beta_X + \tan\beta_Y) \\ &= F_1 - y(\tan\beta_X + \tan\beta_Y) \end{aligned}$$

故

$$\sin\alpha = \tan\beta_X + \tan\beta_Y \tag{6-23}$$

在横向梯形载荷 F 的作用下，X 梁及 Y 梁将分别产生如下弯矩（图 6－13)。

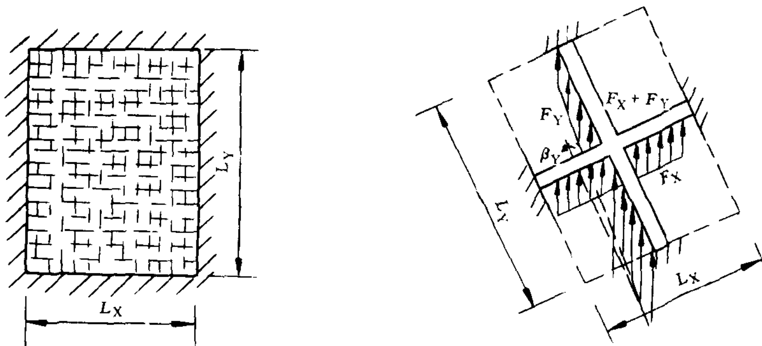


图 6－12　四边固定的矩形板中任一点的载荷

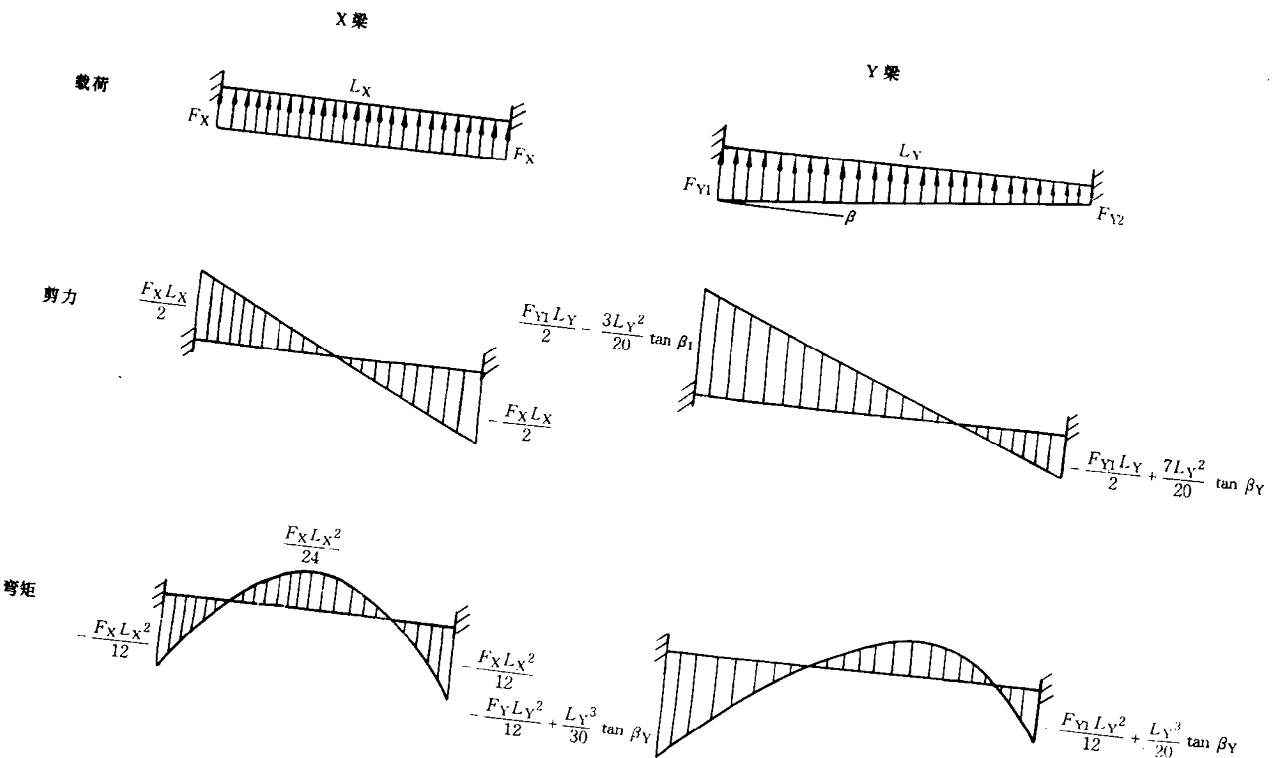


图 6-13 X 梁和 Y 梁上的剪力和弯矩

$$
\begin{aligned}
M_X &= \int_0^X \tau_X \mathrm{d}x - \frac{F_X L_X^2}{12} \\
&= \int_0^X \left(\frac{F_X L_X}{2} - \int_0^X F_X \mathrm{d}x \right) dx - \frac{F_X L_X^2}{12} \\
&= \int_0^X \left[\frac{L_X}{2}(F_{X1} - y\tan\beta_X) - \int_0^X (F_{X1} - y\tan\beta_X)\mathrm{d}x \right] \mathrm{d}x - \frac{L_X^2}{12}(F_{X1} - y\tan\beta_X) \\
&= \int_0^X \left[\frac{L_X}{2}(F_{X1} - y\tan\beta_X) - (F_{X1} - y\tan\beta_X)x \right] \mathrm{d}x - \frac{L_X^2}{12}(F_{X1} - y\tan\beta_X) \\
&= \int_0^X \frac{F_{X1} - y\tan\beta_X}{2}(L_X - 2x)\mathrm{d}x - \frac{L_X^2}{12}(F_{X1} - \tan\beta_X) \\
&= \frac{F_{X1} - y\tan\beta_X}{2}(L_X - x^2) - \frac{L_X^2}{12}(F_{X1} - y\tan\beta_X) \\
&= \frac{F_{X1} - y\tan\beta_X}{2}\left(L_X - x^2 - \frac{L_X^2}{6} \right) \qquad (6-24)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
M_Y &= \int_0^y \tau_Y \mathrm{d}y - \left[\frac{F_{Y1} L_Y^2}{12} - \frac{(F_{Y1} - F_Y) L_Y^2}{30} \right] \\
&= \int_0^y \left[\frac{F_{Y1} L_Y}{2} - \frac{3L_Y^2}{20}\tan\beta_Y - \int_0^y (F_{Y1} - y\tan\beta_Y)\mathrm{d}y \right] \mathrm{d}y - \frac{F_{Y1} L_Y^2}{12} + \frac{L_Y^3}{30}\tan\beta_Y \\
&= \int_0^y \left[\frac{F_{Y1} L_Y}{2} - \frac{3L_Y^2}{20}\tan\beta_Y - F_{Y1}y + \frac{y^2}{2}\tan\beta_Y \right] \mathrm{d}y] \mathrm{d}y - \frac{F_{Y1} L_Y^2}{12} + \frac{L_Y^3}{30}\tan\beta_Y \\
&= \left(\frac{F_{Y1} L_Y}{2} - \frac{3L_Y^2}{20}\tan\beta_Y \right) y - \frac{F_{Y1} y^2}{2} + \frac{y^3}{6}\tan\beta_Y - \frac{F_{Y1} L_Y^2}{12} + \frac{L_Y^3}{30}\tan\beta_Y \\
&= \frac{F_{Y1}}{2}\left(L_Y y - y^2 - \frac{L_Y^2}{6} \right) - \frac{\tan\beta_Y}{2}\left(\frac{3L_Y^2 y}{10} - \frac{y^3}{3} - \frac{L_Y^3}{15} \right) \qquad (6-25)
\end{aligned}
$$

在外加弯矩 M_X、M_Y 的作用下，X 梁及 Y 梁的内部必然产生如下张应力、压应力和弯矩（图 6－14）：

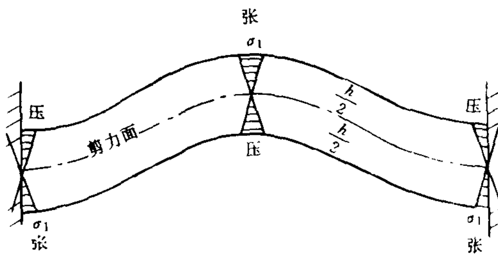


图 6－14　X 梁及 Y 梁内的应力分布

在梁的内部，以 $h/2$ 为顶点，张应力、压应力组成对顶三角形。其最大应力分别组成对顶三角形的两个底边，在梁的两端，张应力位于 $h/2$ 的下部，压应力位于 $h/2$ 的上部；在梁的中间则张应力位于上部，压应力位于下部。每一断面上的张应力与压应力，组

成一对大小相等方向相反的力偶。并形成与外加弯矩方向相反的反抗弯矩。

在矩形“均质弱板”中取一微小单元来研究。设该微小单元在 M_X 的单独作用下在 X 方向所产生的最大应力为 σ_{X1}，在 M_Y 单独作用下 Y 方向所产生的最大应力为 σ_{Y1}，则该微小单元在 M_X 及 M_Y 的联合作用下，X 方向及 Y 方向所产生的最大应力将分别为 $\sigma_{X1}-\mu\sigma_{Y1}$及 $\sigma_{Y1}-\mu\sigma_{X1}$。可称之为最大有效应力，分别以 σ_{X0}及 σ_{Y0}表之。

因此，矩形板中任一微小单元在 M_X 及 M_Y 的联合作用下，在 X 方向及 Y 方向将分别产生如下有效反抗弯矩：

$$M_{X反}=2\cdot\frac{h}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot\frac{\sigma_{X0}}{2}\cdot\frac{h}{2}=\frac{\sigma_{X0}}{6}h^2 \tag{6-26}$$

及

$$M_{Y反}=\frac{\sigma_{Y0}}{6}h^2 \tag{6-27}$$

根据力学平衡原理，要保持矩形板不受破坏，所有各方面的作用力和反作用力之和及总矩都必须等于零。亦即 $\Sigma X=0$，$\Sigma Y=0$，$\Sigma Z=0$及 $\Sigma M=0$ 。由于矩形板的四边都是固定的，而且我们的目的在于研究隔水底板是否破裂，而不必研究其挠度。故前三个条件总是能满足的，不必去研究它们，而只须研究最后一个条件即 $\Sigma M=0$ 即可。

由 式(6-24) 及式 (6-26)

$$\Sigma M_X=M_X+M_{X反}=\frac{F_{X1}-y\tan\beta_X}{2}\left(L_Xx-x^2-\frac{L_X^2}{6}\right)+\frac{\sigma_{X0}}{6}h^2=0$$

得

$$F_{X1}=\frac{-2\sigma_{X0}h^2}{6L_Xx-6x^2-L_X^2}+y\tan\beta_X \tag{6-28}$$

由 式(6-25) 及式 (6-27)

$$\Sigma M_Y=M_Y+M_{Y反}=\frac{F_{Y1}}{2}\left(L_Yy-y^2-\frac{L_Y^2}{6}\right)-\frac{\tan\beta_Y}{2}\left(\frac{3L_Y^2y}{10}-\frac{y^3}{3}-\frac{L_Y^3}{15}\right)+\frac{\sigma_{Y0}}{6}h^2=0$$

得

$$F_{Y1}=\frac{2\sigma_{Y0}h^2}{6L_Yy-6y^2-L_Y^2}+\frac{\dfrac{3L_Y^2y}{10}-\dfrac{y^3}{3}-\dfrac{L_Y^3}{15}}{L_Yy-y^2-\dfrac{L_Y^2}{6}}\tan\beta_Y$$

由 式(6-20)、式(6-28) 及式 (6-29) 得

$$F_1=F_{X1}+F_{Y1}$$

$$=\frac{-2\sigma_{X0}h^2}{6L_Xx-6x^2-L_X^2}+\frac{-2\sigma_{Y0}h^2}{6L_Yy-6y^2-L_Y^2}+y\tan\beta_X+\frac{\dfrac{3L_Y^2y}{10}-\dfrac{y^3}{3}-\dfrac{L_Y^3}{15}}{L_Yy-y^2-\dfrac{L_Y^2}{6}}\tan\beta_Y \tag{6-30}$$

式（6－30）即为承受横向梯形载荷的矩形“均质弱板”中任一点（x，y）的以 F_1 表示的力学平衡方程式。

当 $x=0$，$y=0$；或 $x=L_X$，$y=0$ 时，F_1 的绝对值最小；当 F_1 一定时，则 σ_{X0}、σ_{Y0}有最大值。亦即在矩形“均质弱板”的倾斜下边的两端，F_1 使板中产生的有效应力最大。此时

$$F_1 = 2h^2\left(\frac{\sigma_{X0}}{L_X^2}+\frac{\sigma_{Y0}}{L_Y^2}\right)+\frac{2}{5}L_Y\tan\beta_Y \tag{6－31}$$

当 σ_{X0}或 σ_{Y0}大于“弱板”的抗张强度 K_0 时，则“弱板”将沿 X 方向或 Y 方向发生破裂。故采场底板突水多发生在采煤工作面的倾斜下方。

现在来研究一下 σ_{X0}及 σ_{Y0}的相对大小及其相互关系问题：

从结构力学关于矩形板的简化计算可知：对于承受均布载荷的矩形板，

$$\frac{F_X}{F_Y}=\frac{L_Y^4}{L_X^4} \tag{6－32}$$

对于承受横向梯形载荷的矩形板，如载荷梯度不大时，亦可近似地认为符合上式$\left(\text{即}\frac{F_X}{F_Y}=\frac{L_Y^4}{L_X^4}\right)$。

从式（6－28）及式（6－29）可知

$$\frac{F_{X1}}{F_{Y1}}=\frac{\dfrac{-2\sigma_{X0}h^2}{6L_Xx-6x^2-L_X^2}+y\tan\beta_X}{\dfrac{-2\sigma_{Y0}h^2}{6L_Yy-6y^2-L_Y^2}+\tan\beta_Y\cdot\dfrac{\frac{3}{10}L_Yy^2-\frac{y^3}{3}-\frac{L_Y^3}{15}}{L_Yy-y^2-\frac{L_Y^2}{6}}}$$

当 $x=0$，$y=0$，且 β_Y 不大时，则

$$\frac{F_{X1}}{F_{Y1}}\approx\frac{\sigma_{X0}L_Y^2}{\sigma_{Y0}L_X^2} \tag{6－33}$$

从式（6－32）及式（6－33）可知，

$$\frac{\sigma_{X0}L_Y^2}{\sigma_{Y0}L_X^2}=\frac{L_Y^4}{L_X^4}$$

得

$$\frac{\sigma_{X0}}{\sigma_{Y0}}=\frac{L_Y^2}{L_X^2} \tag{6－34}$$

式（6－34）表明：矩形板中 X 方向及 Y 方向所产生的应力，与其边长的平方成反比。亦即沿短边方向所产生的应力要比沿长边方向所产生的应力大得多。当载荷增加到某一限度时，矩形板中沿短边方向所产生的应力首先达其抗张强度而破裂，而沿长边方向的应力则尚未达到其抗张强度。长壁采煤时，第一次周期来压的距离往往小于工作面长度，亦即 $L_X>L_Y$，因而 $\sigma_{X0}>\sigma_{Y0}$，故突水裂隙往往平行于工作面的壁根。如以

$$\sigma_{Y0}=\sigma_{X0}\cdot\frac{L_X^2}{L_Y^2}=\sigma_{X0}N^2$$

代入式（6－31）可得

$$F_1 = 2\sigma_{X0}h^2\left(\frac{1}{L_X^2}+\frac{N^2}{L_Y^2}\right)+\frac{2}{5}L_Y\tan\beta_Y$$

式中 N 为矩形板的宽长比$\left(\text{即 } N=\frac{\text{短边}}{\text{长边}}\right)$。

当 σ_{X0}大到等于或大于底板岩体的最小抗张强度 K_0 时，则底板产生破裂和突水，此时

$$F_1 = 2K_0h^2\left(\frac{1}{L_X^2}+\frac{N^2}{L_Y^2}\right)+\frac{2}{5}L_Y\tan\beta_Y \tag{6－35}$$

当用短工作面（例如小于 30～50m）开采，则第一次周期来压的距离，可能大于工作面长度（即 $L_X>L_Y$），此时上式应改写为

$$F_1 = 2K_0h^2\left(\frac{N^2}{L_X^2}+\frac{1}{L_Y^2}\right)+\frac{2}{5}L_Y\tan\beta_Y \tag{6－36}$$

或统写为

$$F_1 = 2K_0h^2\left(\frac{1}{L_S^2}+\frac{N^2}{L_l^2}\right)+\frac{2}{5}L_Y\tan\beta_Y \tag{6－37}$$

式中 L_S ——悬顶区短边边长（m）；

L_l ——悬顶区长边边长（m）。

在式（6－23）中，如取 $\tan\beta_X=\tan\beta_Y$，则可得

$$\tan\beta_Y = \frac{1}{2}\sin\alpha$$

代入式（6－37），得

$$F_1 = 2K_0h^2\left(\frac{1}{L_S^2}+\frac{N^2}{L_l^2}\right)+\frac{1}{5}L_Y\sin\alpha \tag{6－38}$$

式（6－38）即为矩形“均质弱板”在横向梯形载荷作用下的力学平衡方程式。

三、最易突水点的临界水压方程式

前面已经假设，上述理想“均质弱板”的载荷分布及边界条件，均与采场底板相同。“弱板”的抗张强度等于采场底板最弱点的岩体抗张强度。因此，式（6－38）所描述的“弱板”力学平衡条件，应能代表采场底板最薄弱点与最大应力点相会合时的力学平衡条件，亦即最易突水点的力学平衡条件。

以式（6－18）代入式（6－38），可得

$$P_1 = 2K_0\left(\frac{1}{L_S^2}+\frac{N^2}{L_l^2}\right)h^2+\gamma_{底}h\cos\alpha-H_0\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta)\cos\alpha-q_S+\frac{1}{5}L_Y\sin\alpha \tag{6－39}$$

由于式中 P_1 是隔水底板底面的水压值，而实际采煤时能直接测到的却是隔水底板顶面的水压值 P_0，二者相差一个隔水底板厚度 h。即

$$P_1 = P_0+h\gamma_{水} \tag{6－40}$$

式中 $\gamma_{水}$ 为水的容重，一般可近似地取值为 1。

同时式（6－39）中

$$H_0\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta)\cos\alpha + Q_S = Q \tag{6-41}$$

以式（6－40）及式（6－41）代入式（6－39），得

$$P_0 = 2K_0\left(\frac{1}{L_S^2}+\frac{N^2}{L_l^2}\right)h^2 + (\gamma_{底}\cos\alpha - 1)h - Q + \frac{1}{5}L_Y\sin\alpha \tag{6-42}$$

或改写为

$$P_0 - \frac{1}{5}L_Y\sin\alpha = 2K_0\left(\frac{1}{L_S^2}+\frac{N^2}{L_l^2}\right)h^2 + (\gamma_{底}\cos\alpha - 1)h - Q$$

式中 $P_0-\frac{1}{5}L_Y\sin\alpha$ 为倾斜采区 $\frac{L_Y}{5}$ 处的水压值，以 $P_{\frac{Y}{5}}$ 表之，故有

$$P_{\frac{Y}{5}} = 2K_0\left(\frac{1}{L_S^2}+\frac{N^2}{L_l^2}\right)h^2 + (\gamma_{底}\cos\alpha - 1)h - Q \tag{6-43}$$

式（6－43）即为倾斜采区最易突水点的临界水压方程式。

对于水平采区（$\alpha=0$），则式(6－42）可写为

$$P_0 = 2K_0\left(\frac{1}{L_S^2}+\frac{N^2}{L_l^2}\right)h^2 + (\gamma_{底} - 1)h - Q \tag{6-44}$$

此时已转化为前述水平采区底板突水公式（6－8）的修正式。

对于 P_0 与 h 的关系来说，式（6－43)、式（6－44）及式（6－45）显然都是一个二次抛物线方程，可统写为如下形式

$$P_0 = ah^2 + bh - c \tag{6-45}$$

对于倾斜采区

$$a = 2K_0\left(\frac{1}{L_S^2}+\frac{N^2}{L_l^2}\right) \tag{6-46}$$

或简写为

$$a = 2K_0(L) \tag{6-47}$$

$$b = \gamma_{底}\cos\alpha - 1 \tag{6-48}$$

$$c = Q \tag{6-49}$$

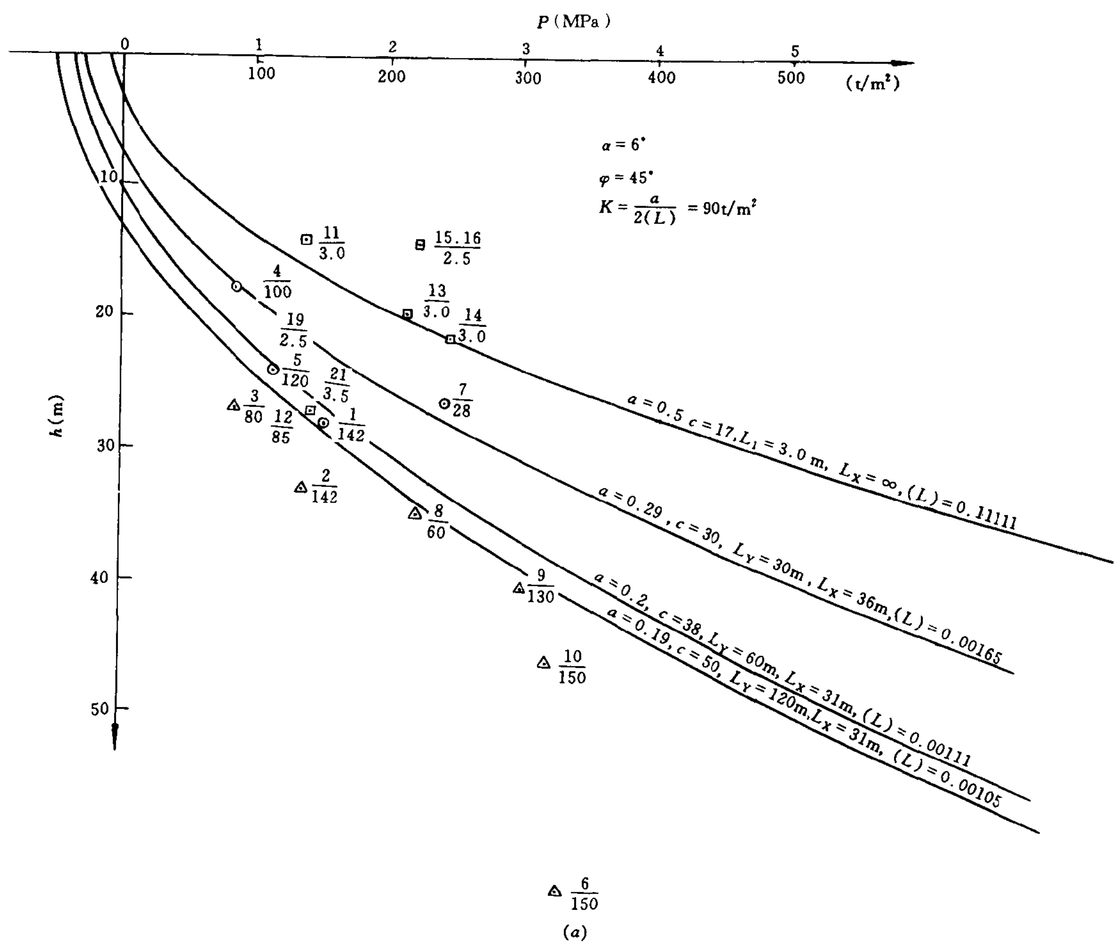
当某一采区或某一地段的实际水压值大于 P_0 时，该采区或地段在开采时必会发生底板突水；反之，当实际水压小于 P_0 时，就不会发生底板突水。

式（6－42）或式(6－45）具有如下几个非常重要的性质：

(1) 若以 P 为横坐标，以 h 为纵坐标，则公式（6－43）或式（6－45）的轨迹为一在 P 轴上具有负截距 c，在 h 轴上具有截距 h_0 的抛物线图（图 6－15)。

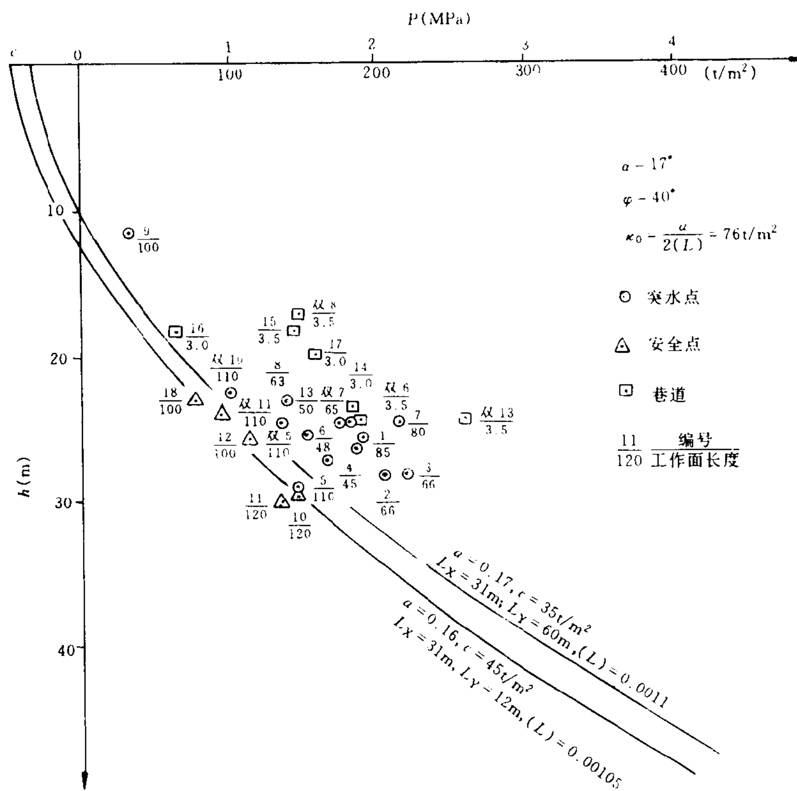
抛物线的具体位置取决于系数 a、b、c 的具体数值。对于一个具体矿井或矿区来说，则随着（L）值的变化而作有规律的迁移，即每一（L）值都有一条抛物线，表现为一束有规律迁移的抛物线系（图 6－15$a-i$)。

对于某一（L）值的抛物线来说，凡是 P、h 坐标位于该（L）值的抛物线的右上方的该（L）值采区，均可能发生底板破裂，但突水现象只能发生在 h 轴的右边，左边则只破裂而不突水。凡是 P、h 坐标位于此抛物线左下方的该（L）值采区，则既不会发生底板破裂，也不会发生底板突水。这一规律，已被淄博、焦作、峰峰、井陉、肥城等矿区各矿井的大量实际资料所证实。其他矿区也未发现例外。

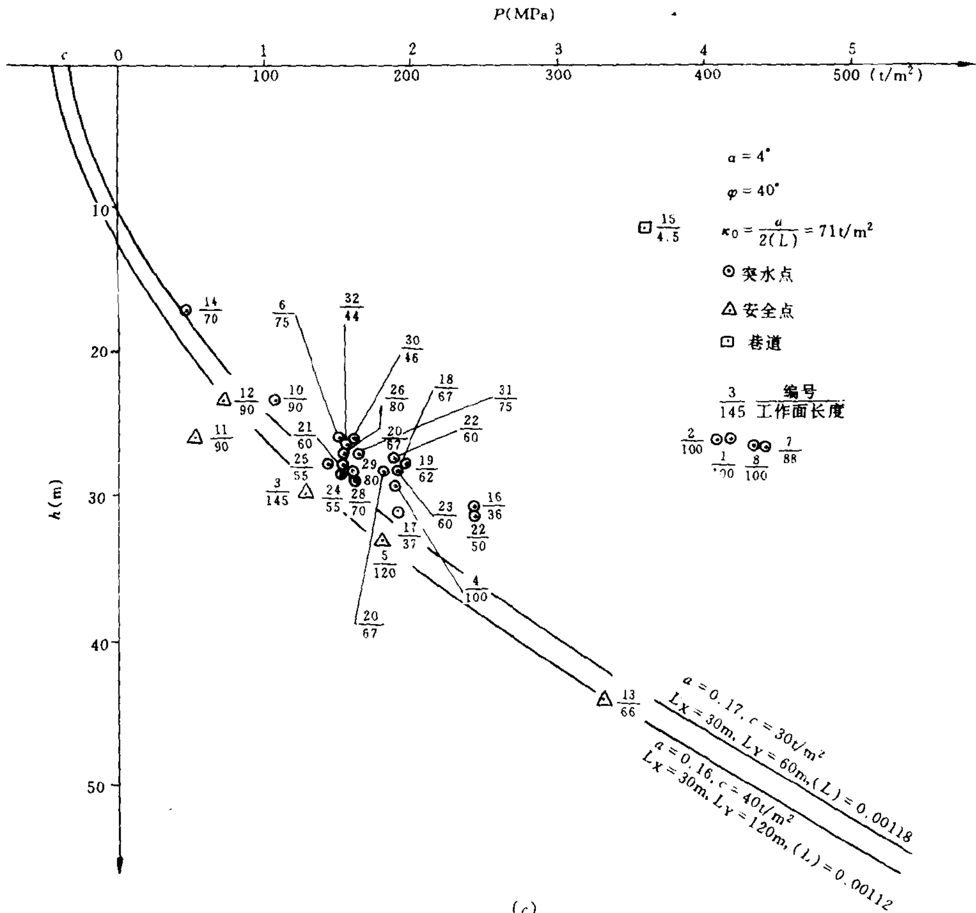


P (MPa)
0
1
2
3
4
5
100
200
300
400
500
(t/m²)
α = 6°
φ = 45°
K = a/2(L) = 90t/m²
h (m)
10
20
30
40
50
α = 0.5 c = 17, L₁ = 3.0 m, Lₓ = ∞, (L) = 0.11111
α = 0.29 , c = 30, L_Y = 30m , Lₓ = 36m, (L) = 0.00165
α = 0.2, c = 38, L_Y = 60m, Lₓ = 31m, (L) = 0.00111
α = 0.19, c = 50, L_Y = 120m, Lₓ = 31m, (L) = 0.00105

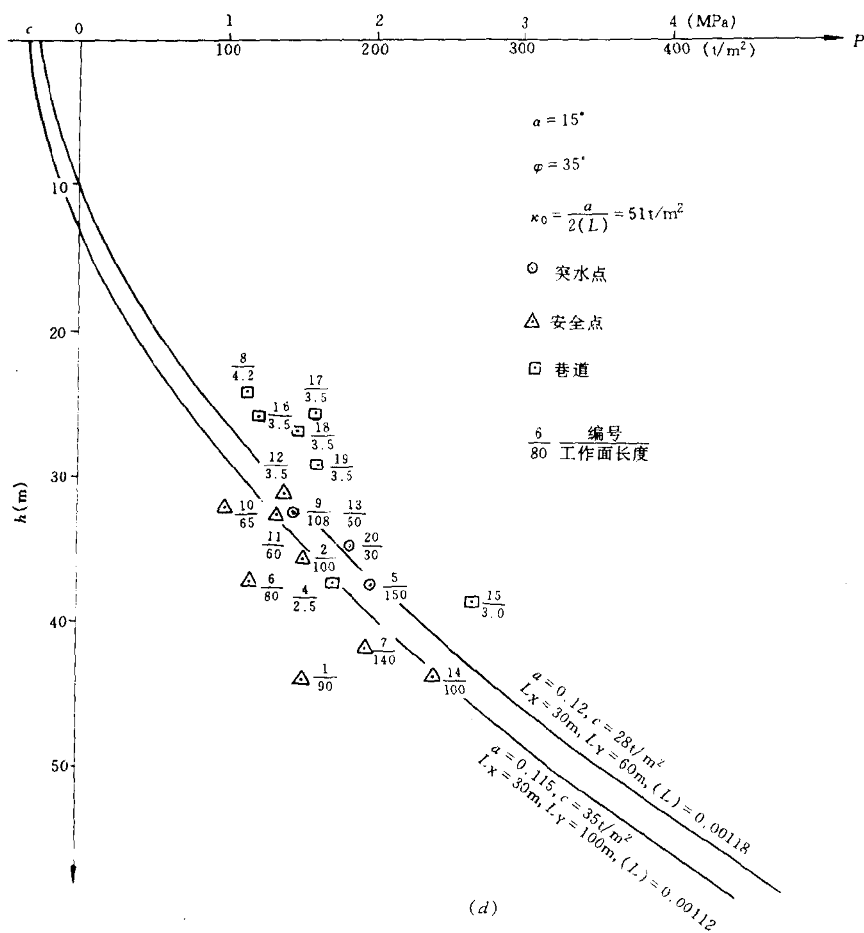
(a)


P(MPa)
(t/m²)
h(m)
α = 17°
φ = 40°
突水点
安全点
巷道
编号
工作面长度
a = 0.17, c = 35t/m²
Lx = 31m, Ly = 60m, (L) = 0.0011
a = 0.16, c = 45t/m²
Lx = 31m, Ly = 12m, (L) = 0.00105

(b)

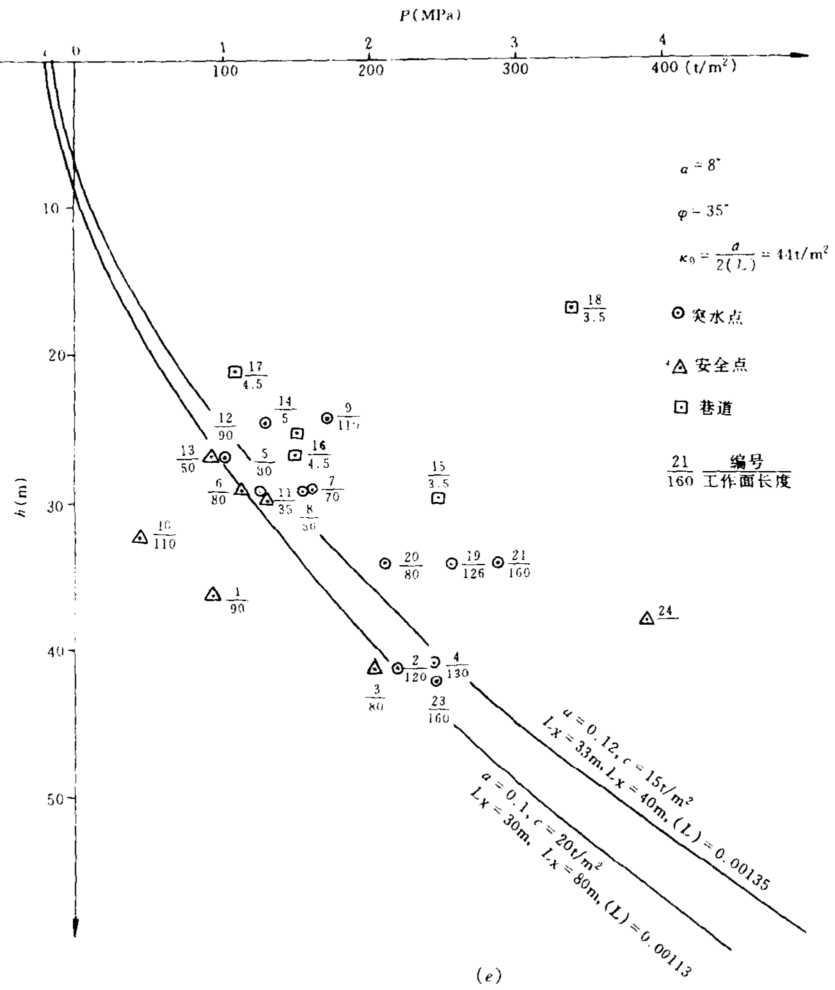

P(MPa)
c
0
1
2
3
4
5
100
200
300
400
500 (t/m²)
h(m)
10
20
30
40
50
α = 4°
φ = 40°
κ₀ = a/2(L) = 71t/m²
突水点
安全点
巷道
编号
工作面长度
a = 0.17, c = 30t/m²
Lx = 30m, Ly = 60m, (L) = 0.00118
a = 0.16, c = 40t/m²
Lx = 30m, Ly = 120m, (L) = 0.00112

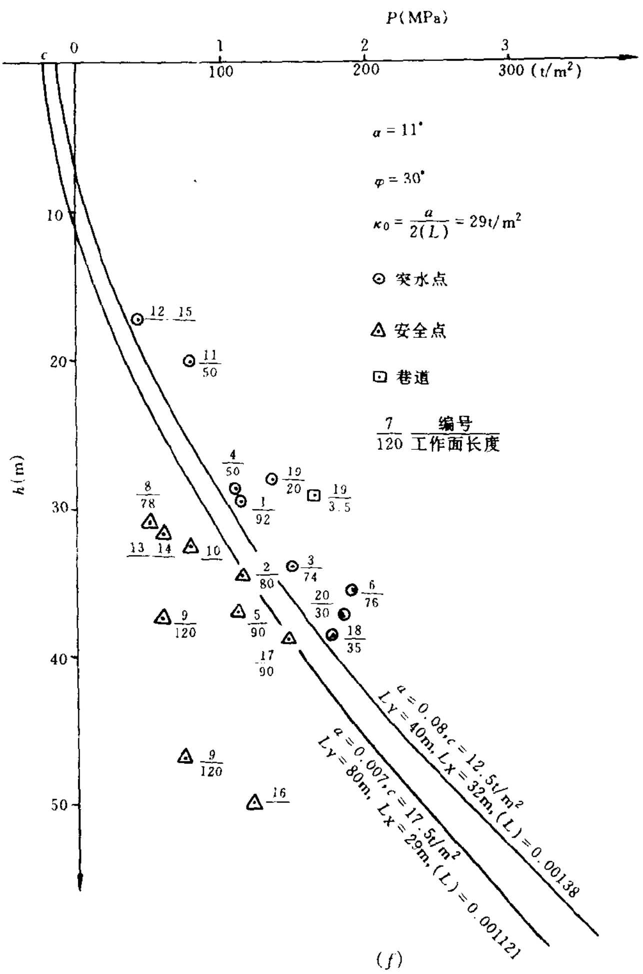
(c)

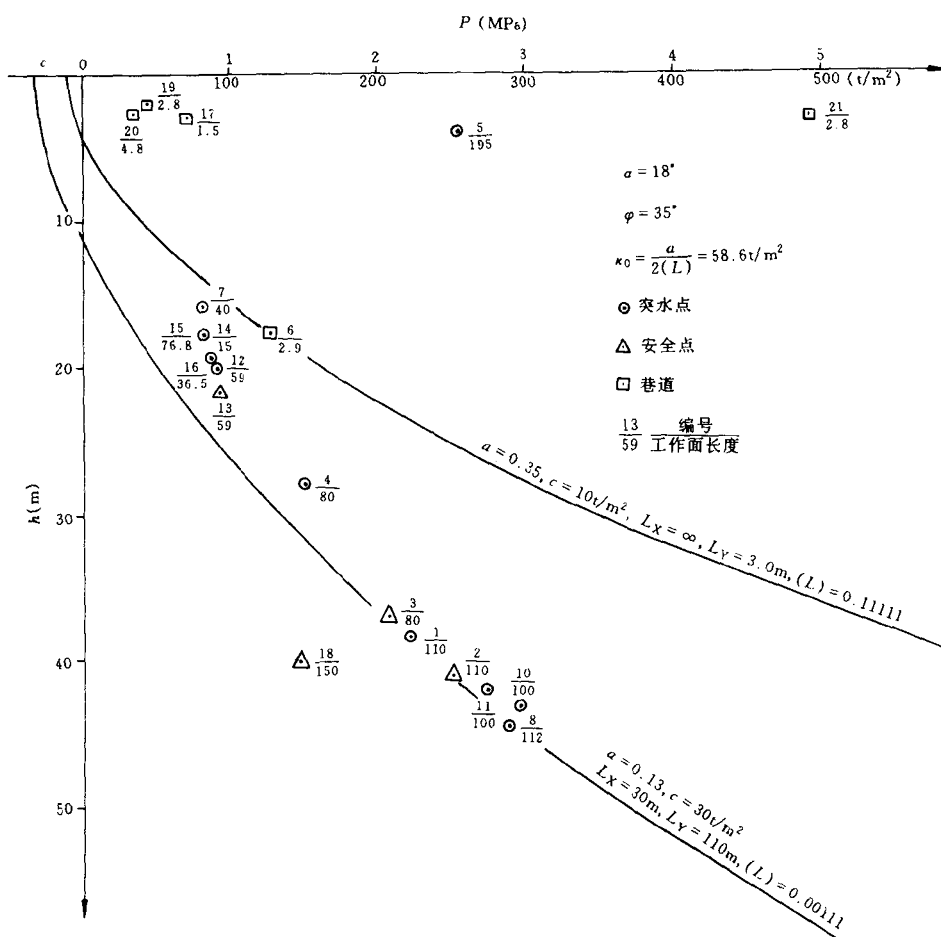


c
0
1
2
3
4 (MPa)
100
200
300
400 (t/m²)
P
h(m)
10
20
30
40
50
α = 15°
φ = 35°
κ₀ = a/2(L) = 51t/m²
突水点
安全点
巷道
6/80 编号/工作面长度
a = 0.12, c = 28t/m², Lx = 30m, Ly = 60m, (L) = 0.00118
a = 0.115, c = 35t/m², Lx = 30m, Ly = 100m, (L) = 0.00112

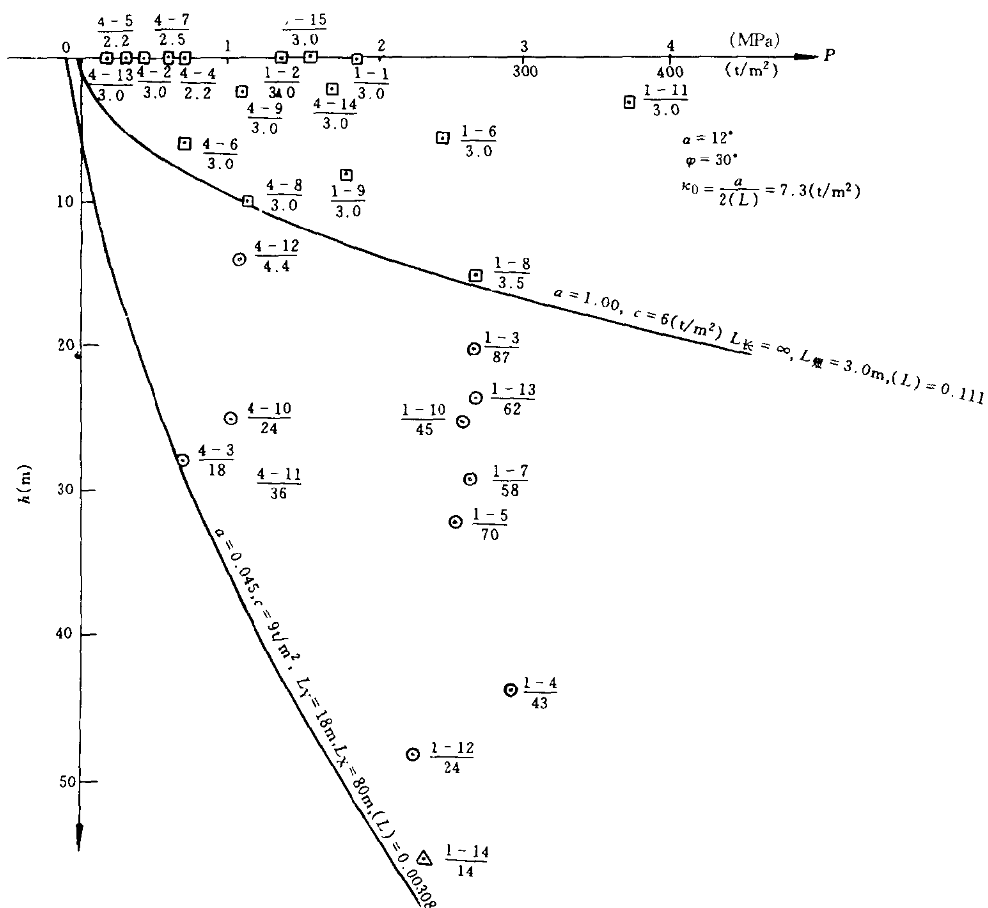
(d)


P(MPa)
400 (t/m²)
h(m)
α = 8°
φ = 35°
κ0 = a/(2(L)) = 44t/m²
突水点
安全点
巷道
编号/工作面长度
a = 0.12, c = 15t/m², Lx = 33m, Lx = 40m, (L) = 0.00135
a = 0.1, c = 20t/m², Lx = 30m, Lx = 80m, (L) = 0.00113
(e)


P(MPa)
300 (t/m²)
h(m)
α = 11°
φ = 30°
κ0 = a/(2(L)) = 29t/m²
突水点
安全点
巷道
编号/工作面长度
a = 0.08, c = 12.5t/m², Ly = 40m, Lx = 32m, (L) = 0.00138
a = 0.007, c = 17.5t/m², Ly = 80m, Lx = 29m, (L) = 0.001121
(f)

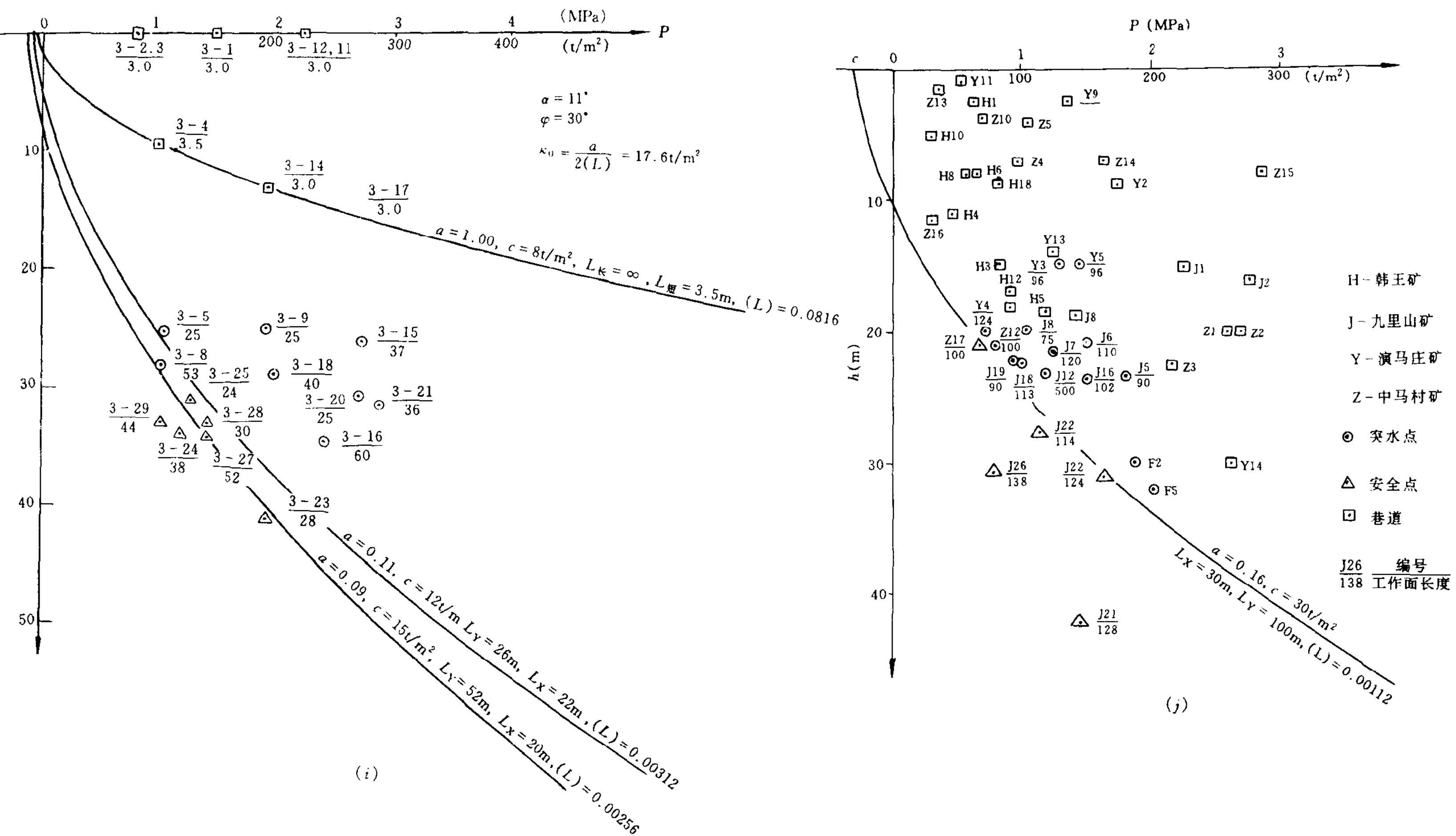

P (MPa)
500 (t/m²)
h(m)
α = 18°
φ = 35°
κ₀ = a/2(L) = 58.6t/m²
突水点
安全点
巷道
13/59 编号/工作面长度
a = 0.35, c = 10t/m², Lx = ∞, Ly = 3.0m, (L) = 0.11111
a = 0.13, c = 30t/m²
Lx = 30m, Ly = 110m, (L) = 0.00111

(g)



(MPa)
(t/m²)
P
h(m)
α = 12°
φ = 30°
κ0 = a/2(L) = 7.3(t/m²)
a = 1.00, c = 6(t/m²) LK = ∞, L横 = 3.0m,(L) = 0.111
a = 0.045, c = 9t/m², Ly = 18m, Lx = 80m, (L) = 0.00308

(h)



P (MPa) (t/m²)
h (m)
α = 11°
φ = 30°
κ0 = a/2(L) = 17.6t/m²
a = 1.00, c = 8t/m², L长 = ∞, L短 = 3.5m, (L) = 0.0816
a = 0.11, c = 12t/m Ly = 26m, Lx = 22m, (L) = 0.00312
a = 0.09, c = 15t/m², Ly = 52m, Lx = 20m, (L) = 0.00256
(i)
H－韩王矿
J－九里山矿
Y－演马庄矿
Z－中马村矿
突水点
安全点
巷道
J26/138 编号/工作面长度
a = 0.16, c = 30t/m²
Lx = 30m, Ly = 100m, (L) = 0.00112
(j)

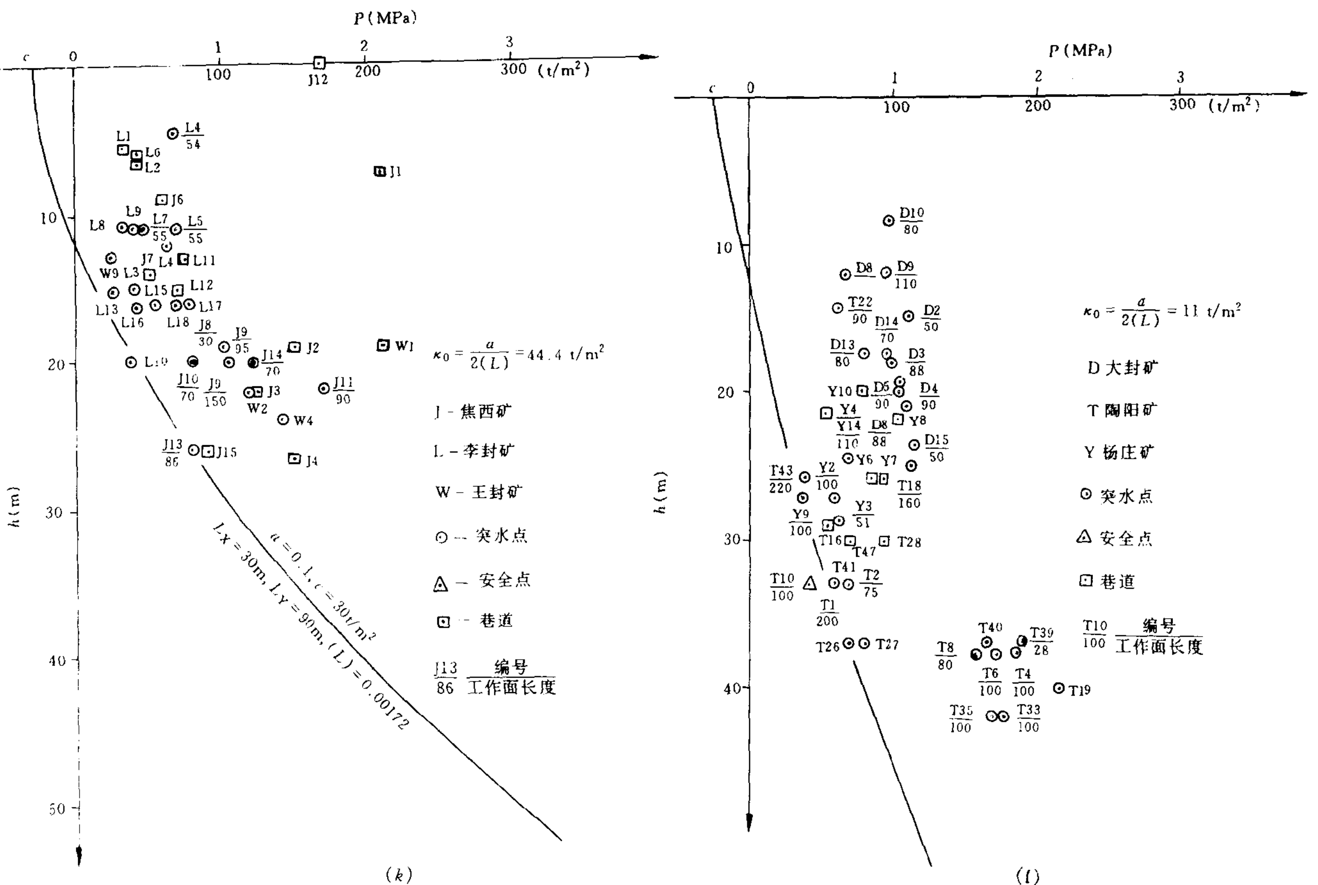


图6-15 淄博、焦作、峰峰、井陉、肥城等矿区各矿 $P=f(h)$ 曲线图

a-黑山矿；b-夏庄、双山矿；c-石谷矿；d-寨里矿；e-洪山矿；f-埠村矿；g-峰峰矿区

h-井陉一、四矿；i-井陉三矿；j-焦作矿区东部诸井；k-焦作矿区西部；l-肥城矿区

(2) 图6－15也和图6－1一样表明：采区底板之所以发生底鼓、破裂和突水，是水头压力与矿山压力共同作用的结果。P轴上的负截距c，即为作用悬顶区底板的矿山压力Q（包括地应力）的具体数值。h轴上的截距h_0，即水压为零时矿山压力单独作用对底板的破坏深度。同时，图中还清楚地表明：随着（L）值的增大，c和h_0的数值也相应增大，这一点，可从公式（6－15）及式（6－12）获得解积。

(3) 从式（6－43）中可以看出：当其他条件相同时，P_0或$P_{\frac{Y}{5}}$是随着K_0的降低而呈直线减小的。故底板突水多发生在断层带或破碎带附近。在不同的矿井，则随着各矿底岩体抗张强度的不同，其抵抗水压及矿压的能力呈直线变化。这一点已被各矿区的大量资料所证实（图6－16）.

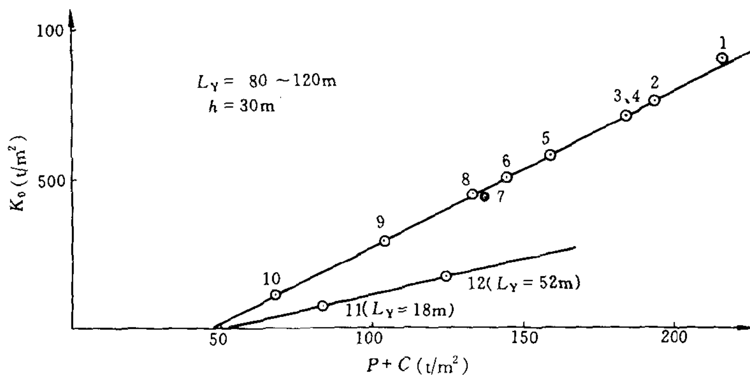


图6－16 各矿区 K_0 与 $P+C$ 关系图

1－黑山矿；2－夏庄、双山矿；3－石谷矿；4－焦作矿区东部诸矿；5－峰峰矿区；6－寨里矿；7－洪山矿；8－焦作西部；9－埠村矿；10－肥城矿区；11－井陉一、四矿；12－井陉三矿

(4) 式（6－43）还表明：P_0是随着工作面长度L_Y的增大而呈似双曲形曲线减小的。这一点也已被淄博区洪山、寨里、夏庄、石谷等矿及峰峰矿区的资料所证实（图6－17)。故缩短工作面长度，有助于防止底板突水。尤其是将工作面缩至60m以下，其效果更为显著。

当工作面长度L_Y增大至100m以上时，L_X已保持为一个常量，临界水压值P_0趋近于一个定值。此定值不随工作面长度继续增大而变化，可我之为“最低临界水压值P_{min}。P_{min}与h的关系曲线$P_{min}=f(h)$可称之为“最低临界水压曲线。此时式（6－43）中

$$\frac{N^2}{L_Y^2} \to 0$$

故

$$P_{min} = 2K_0 \frac{h^2}{L_X^2} + (\gamma_{底} \cos\alpha - 1)h - Q \qquad (6-50)$$

四、剪切破坏的临界水压方程式

前面所介绍采区底板突水的临界水压方程式，是以隔水底板呈弯张破坏为理论基础的。它只适用于悬顶跨度较大、隔水底板厚度相对较小的采场。对于悬顶跨度较小、隔水

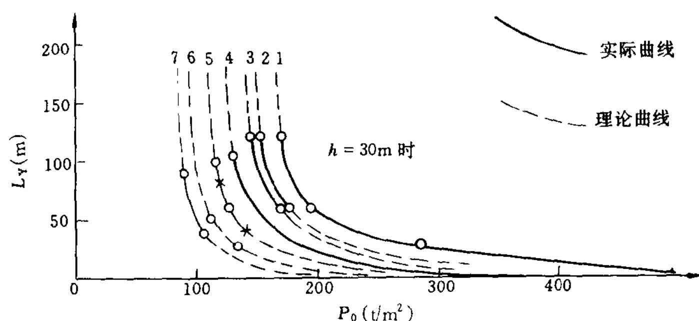


图6-17　各矿区 P_0 与工作面长度 L_Y 的关系

1-黑山矿；2-夏庄、双山矿 3-石谷矿；4-峰峰矿区；5-洪山、寨里矿；6-井陉三矿；7-埠村矿

底板厚度相对较大的采场或巷道，则不易发生弯张破坏，往往须借助于某个断层或破碎带产生剪切破坏，才能突水。例如当工作面或巷道的壁根与断层或破碎带重合或基本重合时，就可能沿断层或破碎带产生剪切破坏而突水。此时，前述的以弯张破坏为理论基础的临界水压方程式，显然是不能适用了。必须按照剪切破坏机制另行研究与之相适应临界水压方程式。

对于沿壁根产生剪切破坏的采场或巷道来说，可将隔水底板视为一个大的“塞子”。作用底板下面的外力 F，将这个“塞子”向上推，采场四壁增压带中支承压力则阻止“塞子”上移。二者在“塞子”边缘——采场四壁壁根形成一对剪切力，沿壁根根往下形成垂直于隔水底板的剪切面，增压带对于采场底板的侧压力，形成垂直于这个剪切面的正压力 N（图6-18）。

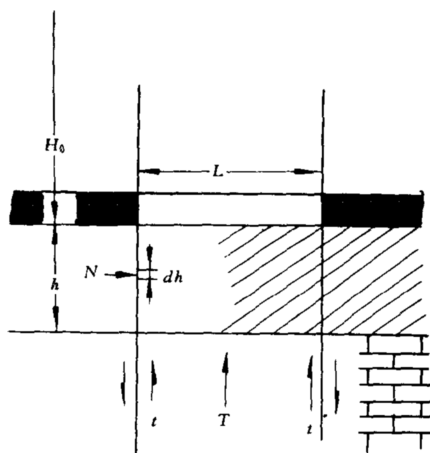


图6-18　剪切破坏力学机制示意图

如果采场或巷道的某一壁根恰好与第一断层或破碎带相重合或基本重合时，这个抗剪能力本来就很低的断层面或破碎带，在强大的壁根剪力的作用下，往往会产生剪切破坏而突水。

现在来具体研究一下剪切破坏的力学机制：

作用于采场底板的总剪切力

$$T = FL_XL_Y = (P + Q - W)L_XL_Y$$

沿采场四壁壁根产生的每米剪切力

$$t = (P + Q - W)\frac{L_XL_Y}{2(L_X + L_Y)} \tag{6-51}$$

沿壁根每米产生的抗剪力

$$\tau = h(N\tan\phi + c)$$

式中

$$N = (H_0\gamma_{顶} + \frac{1}{h}\int_0^h hdh \cdot \gamma_{底})\zeta$$

$$= (H_0\gamma_{顶} + \frac{h}{2}\gamma_{底})\ \zeta$$

故

$$\tau = h\left[\left((H_0\gamma_{顶} + \frac{h}{2}\gamma_{底}\right)\zeta\tan\phi + c\right]$$

$$= \frac{1}{2}h^2\gamma_{底}\zeta\tan\phi + (H_0\gamma_{顶}\zeta\tan\phi + c)\ h \tag{6-52}$$

当剪切力与抗剪力极限平衡时，应有

$$t = \tau$$

$$(P + Q - W)\frac{L_XL_Y}{2(L_X + L_Y)} = \frac{1}{2}h^2\gamma_{底}\zeta\tan\phi + (H_0\gamma_{顶}\zeta\tan\phi + c)h$$

$$P = \frac{L_X + L_Y}{L_XL_Y}h^2\gamma_{底}\zeta\tan\phi + \frac{2(L_XL_Y)}{L_XL_Y}(H_0\gamma_{顶}\zeta\tan\phi + c)h + h\gamma_{底} - Q$$

$$= \left(\frac{1}{L_X} + \frac{1}{L_Y}\right)h^2\gamma_{底}\zeta\tan\phi + \left[2\left(\frac{1}{L_X} + \frac{1}{L_Y}\right)H_0\gamma_{顶}\zeta\tan\phi + c + \gamma_{底}\right]h - Q \tag{6-53}$$

式中 P 为隔水底板底面的水压值 它与实测的底板顶面的水压值相差 $h\gamma_{水}$。γ水为水的容重，可令其等于 1。

以

$$P = P_0 + h\gamma_{水}$$

代入（6-53）得

$$P_0 = \left(\frac{1}{L_X} + \frac{1}{L_Y}\right)h^2\gamma_{底}\zeta\tan\phi + \left[2\left(\frac{1}{L_X} + \frac{1}{L_Y}\right)H_0\gamma_{顶}\zeta\tan\phi + c + \gamma_{底} - 1\right]h - Q \tag{6-54}$$

（6-54）即为隔水底板呈剪切破坏时的临界水压方程式。当底板顶面的实测水压值大于 P_0 时，采场壁根就产生剪切破坏而突水，小于 P_0 时，则安全。

公式（6-54）表明：剪切破坏的临界水压值与隔水底板厚度的关系，也同样是二次抛物线方程。即

$$P_0 = Ah^2 + Bh - c \tag{6-55}$$

式中　$A=\left(\frac{1}{L_X}+\frac{1}{L_Y}\right)\gamma_{底}\zeta\tan\phi$

$B=2\left(\frac{1}{L_X}+\frac{1}{L_Y}\right)H_0\gamma_{顶}\zeta\tan\phi+c+\gamma_{底}-1$

$c=Q$

式（6－54）或式（6－55）的轨迹图形，也同样是在 P 轴上有负截距、在 h 轴上有正截距。其物理意义亦完全与式（6－43）或式（6－45）相同。

式（6－54）或式（6－55）的各项基本性质亦与式（6－43）或式（6－45）相似。只不过式（6－55）中的系数 B 要比式（6－45）中的系数 b 大一些，因而在图形上其曲线坡度要小一些，安全区则相对要大一些。这说明在一般情况下煤矿底板不会由于抗剪强度不够，发生剪切破坏而突水，只有当工作面的壁根推至断层带时，由于断层的抗剪强度极低，才能发生剪切破坏而突水。

式（6－54）中如 L_X 或 L_Y 作单向延伸，则可改写成如下形式

$$P_0=\frac{1}{L}h^2\gamma_{底}\zeta\tan\phi+\left(\frac{2}{L}H_0\gamma_{顶}\zeta\tan\phi+c+\gamma_{底}-1\right)h-Q \qquad (6-56)$$

此即为巷道突水公式。

第四节　煤矿底板突水的预测

一、弯张破坏突水预测方法

由前述可知：只要我们能知道某一矿井或矿区的 $P_0=ah^2+bh-c$ 曲线或式（6－43）中的各项参数，就不难预测任一工作面或新采区的底板能否突水及提出相应的防治措施。基于这一原理，我们提出如下方法：

(一)老矿区底板突水预测方法

对于突水次数较多，资料较丰富的老矿区，可用实际资料图解法。其步骤和方法如下：

1．绘制 $P_0+c=ah^2+bh$ 标准曲线图

将式（6－46）改写为如下形式：

$$P_0+c=ah^2+bh \qquad (6-57)$$

取 P_0+c 为横坐标，h 为纵坐标。$b=\gamma_{底}\cos\alpha-1$ 对于某个矿井来说，可视为一个已知常量。故每给定一个 a 值，即可在坐标图上绘得一条曲线（抛物线）。顺次取 $a=0.005$，0.01，0.015，0.02，0.025，…… ，可绘出一系列的曲线，组成一束通过共同原点的抛物线系。此即为该矿井的 $P_0+c=ah^2+bh$ 标准曲线图（图 6－19）。

2．作矿井突水实际材料图

在透明方格纸上用与标准曲线图相同的比例尺，以 P_0 为横坐标，h 为纵坐标，将某一被研究的矿井历年来的突水点和未发生过突水的采区或工作面，按其 P、h 值一一在坐标图上标出其位置，并分别注明编号 L_X、L_Y 及采深 H_1 的具体数值（图 6－20）。

对于断层附近的突水点，h 值应改用该突水点至断层另一盘含水层的最短距离 h_1，如图 6－6 中的 h_1。至于导水断层或导水的岩溶陷落柱则 h_1 应采用突水点至断层或陷落

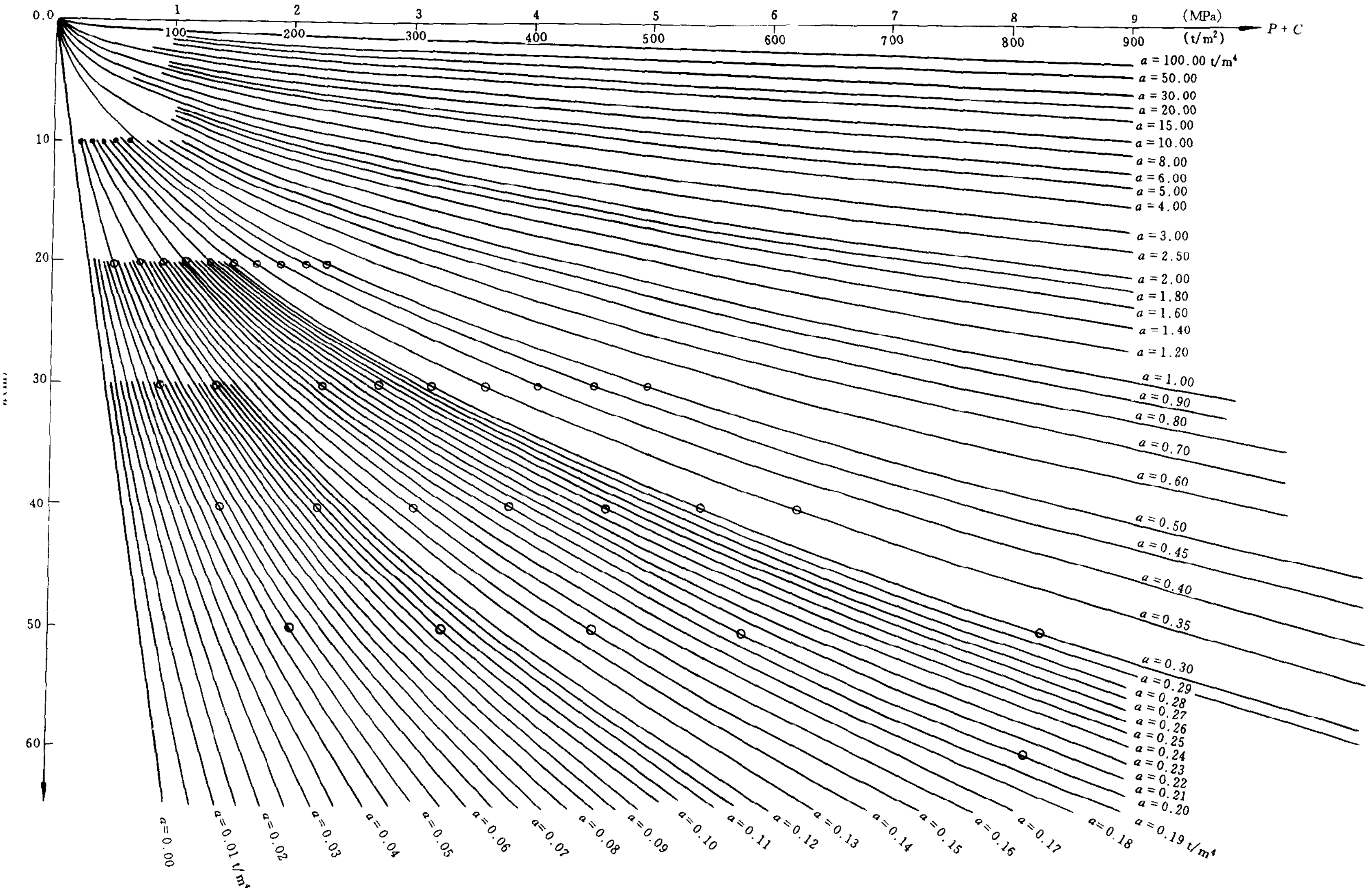


图 6-19　$P+c=ah^2+bh$　标准曲线图($b=1.5t/m^3$)

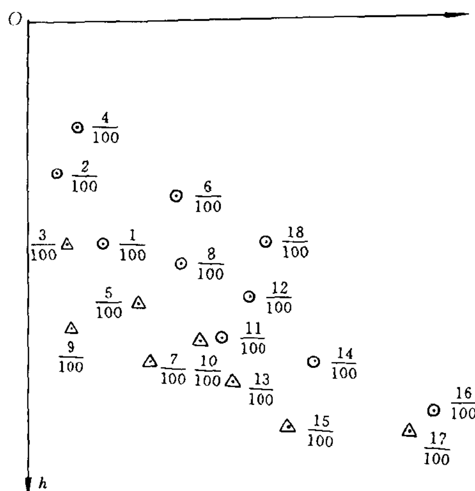


图 6-20　矿井突水实际材料图

柱的最短距离。所有断层或陷落柱附近的突水点，均应注以特殊的标志。

图上每个点的 P、L_X、L_Y 及 H_1 的数值都必须是该工作面的实测数值，不得以平均数值或推断数值来代替。

3. 确定矿井的 $P_0 = \mathrm{a}h^2 + \mathrm{b}h - \mathrm{c}$ 曲线及各项参数

(1) 确定 $P_0 = \mathrm{a}h^2 + \mathrm{b}h - \mathrm{c}$ 曲线

将实际材料图叠置在标准曲线图上，并将其横坐标轴（P_0 轴）与标准曲线图的 $P_0 +$ c 轴重合，作横向移动（二者的纵座标 h 轴保持彼此平行），使实际材料图上某一 $L_X L_Y$ 值时的突水与不变水的可能性分界线与标准曲线图上某一条曲线相吻合（如图 6-21）。在实际材料图上描出此曲线，此曲线及其 a 值，即为该矿井在该 $L_X L_Y$ 值时的 $P_0 = \mathrm{a}h^2 + \mathrm{b}h - \mathrm{c}$ 曲线［以下简称 $P(h)$ 曲线］和 a 值。其横坐标之差即为 c 值。

再用同样方法得出该矿井各种 L_X、L_Y 值时的 $P(h)$ 曲线及其 a 值和 c 值（参考图 6-15a-i）。

(2) 求 K_0、q_H 及 q_S。

①求底板岩体坑张强度 K_0

既然已知了 $P(h)$ 曲线的 a 值，就可以用式（6-46）求出 K_0，即

$$K_0 = \frac{aL_S^2 L_l^4}{2(L_S^4 + L_C^4)} \tag{6-58}$$

②求作用于悬顶区底板的矿山压力 q_H 及地应力 q_S

由 式（6-41）及式（6-49）可知

$$c = H_0 \gamma_{顶} \zeta^2 (1 + \eta) \cos\alpha + q_S \tag{6-59}$$

式中有效支撑高度 H_0，为一随工作面长度 L_Y 值的平方根增大而增大，随顶板岩体抗张强度 $K_{顶}$ 的最大而减少的变数。

$$H_0 = n \frac{\sqrt{L_Y}}{K_{顶}} \tag{6-60}$$

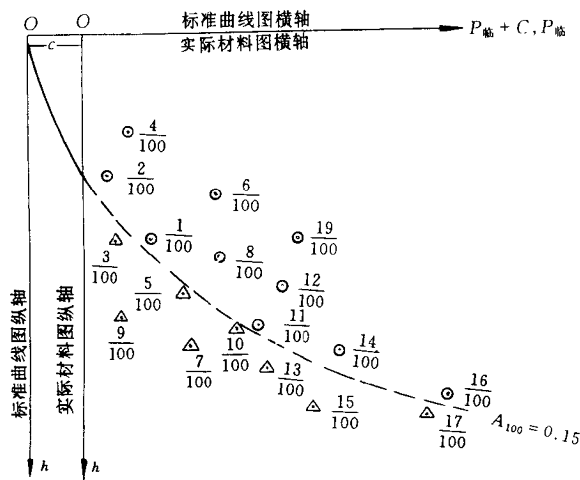


图6－21　用标准曲线求解法示意图

以式（6－60）代入式（6－59），得

$$c = n\frac{\sqrt{L_Y}}{K_{顶}}\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta)\cos\alpha + q_S \tag{6－61}$$

取同一矿井的两条不同 L_Y 值的 P（h）曲线的 c 值，并令其相减，则有

$$c_1 - c_2 = n\frac{\sqrt{L_{Y1}}}{K_{顶}}\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta_1)\cos\alpha - n\frac{\sqrt{L_{Y2}}}{K_{顶}}\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta_2)\cos\alpha$$

$$n = \frac{K_{顶}(c_1 - c_2)}{\gamma_{顶}\zeta^2\left[\sqrt{L_{Y1}}(1+\eta_1) - \sqrt{L_{Y2}}(1+\eta_2)\right]\cos\alpha} \tag{6－62}$$

式中　$K_{顶}$、$\gamma_{顶}$、ζ^2 及 α 都是在勘探中已经查明的，L_{Y1}、L_{Y2}、c_1 及 c_2 都是已知的，η_1 及 η_2 可以在不同 L_Y 值的采区采煤时，于准备巷道中进行动矿压观测，得出增压带宽度 l，再用式（6－12）求出 η_1 及 η_2。

将式（6－60）代入式（6－13），得

$$q_H = n\frac{\sqrt{L_Y}}{K_{顶}}\gamma_{顶}\zeta^2(1+\eta)\cos\alpha \tag{6－63}$$

有了 n 及 η 的值，就可用式（6－63）得出作用于悬顶区底板的矿山压力 q_H 来。

至于地应力 q_S，则可用下式求得

$$q_S = c - q_H \tag{6－64}$$

如同一矿井的各项参数变化均不大，均可近似地视为常数时，则还可用如下较简单的方法求得 q_H 及 q_S。

此时，式（6－61）可改写为如下形式

$$c = D\sqrt{L_Y} + q_S \tag{6－65}$$

如以 c 为纵坐标，以 $\sqrt{L_Y}$ 为横坐标，则式（6－60）的轨迹为一在 c 轴上有截距的直线，此截距的数值即为地应力 q_S；q_S 与各个 L_Y 的 c 值之差，即为各 L_Y 值时的 q_H 值。

现将部分矿井用此法求 q_H 及 q_S，图示如下（图 6－22）：

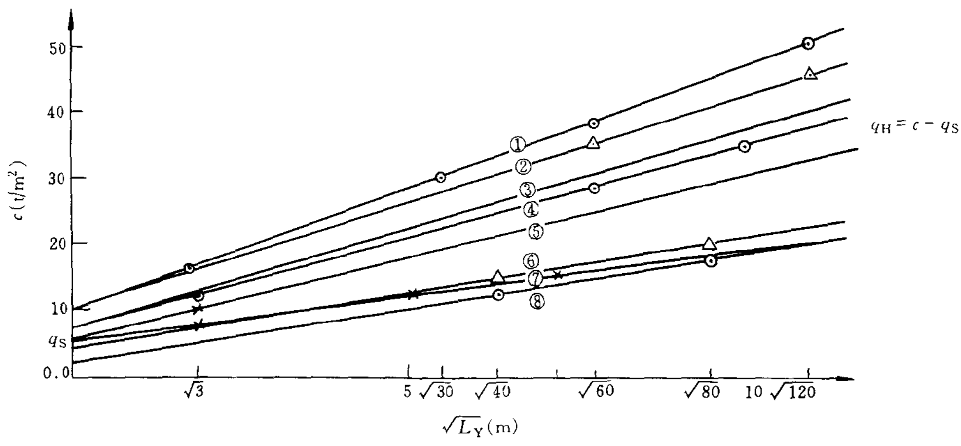


图 6－22　用图解法求 q_H 及 q_S

①－黑山矿；②－夏庄·双山矿；③－石谷矿；④－寨里矿；
⑤－峰峰矿区；⑥－洪山矿；⑦－井陉三矿；⑧－埠村矿

4. 预测新采区（或工作面）能否突水

将新采区或工作面按其 P 及 h 之值，在该矿井的 P（h）坐标图中点出其位置，并标明其设计工作面长度 L_Y 及预计的周期来压距离 L_X。如新采区或工作面的坐标位置位于该 L_X、L_Y 值的 P（h）曲线的右上方时，则此采区或工作面将可能发生突水，须事先采取防治措施；反之，如位于左下方时，则不会发生突水，不须采取防治措施。

对于老矿区中的新矿井或老矿区的深部，本矿井的突水资料还不多或完全缺乏时，可借相邻矿井或浅部矿井的 P（h）曲线来进行突水预测。

（二）新矿区底板突水的预测方法

对于新矿区，则可用如下计算法来预测其 P（h）曲线：

在式（6－45）中，L_X、L_Y 可由设计部门提供或采用常规经验数据，h、γ、α、ζ 是地质勘探中已经查明的，这些都不难确定；须要讨论的是底板岩体抗张强度 K_0 和矿压 Q_0。

1. 求 K_0

岩体抗张强度之所以不同于岩石抗张强度，是因为岩体中含有纵横交错的各种裂隙或空隙，因而岩体的抗张强度要比岩石的抗张强度小得多。二者之间存在如下关系：

$$K_0=\alpha\frac{K_{石}}{D} \tag{6-66}$$

式中　K_0——岩体抗张强度（MPa）；

$K_{石}$——岩石抗张强度（MPa）；

D——岩体的裂隙率；

α——比例系数。

如果我们在底板突水资料较多的老矿区用前述图解法求得其临界曲线的 α 值，并用

式（6－66）得出 K_0，然后详细地统计底板岩体的裂隙率 D，及系统地采取岩样做抗张强度试验（垂直于层理的劈裂试验），得出加权平均值 $K_石$，再用式（6－66）得出比例系数 α；我们就可以根据新区煤层隔水底板的 D、K石及老区已得出的比例系数 α 值，用式（6－66）得出新区煤层隔水底板的岩体抗张强度 K_0 来。但必须注意，新、老区做岩样试验时，其样品规格、含水状态及试验方法都必须彼此相同。

另一种比较简单的办法是，用点载荷试验来代替岩石抗张强度试验，此时

$$K_0 = \beta \frac{I}{D} \tag{6-67}$$

式中 I——点载荷强度；

β——比例系数。

也可采用钻探岩心质量系数（即 RQD 值）与 K_0 建立相关关系。

此外，还可采用声波、人工伽马或其他地球物理探测方法，建立老矿区采区底板岩体抗张强度 K_0 与所测得的物性参数之间的相关关系，然后移用于新区，将可以收到事半功倍的效果。

2. 求 Q 或 c

对于新区，q_H 难以准确获得，只能以下式大致估算（结果为偏大值）或采用老区的数值。

$$q_H = H\gamma_{顶}\zeta^2\cos\alpha \tag{6-68}$$

式中 H——为开采深度（m）.

至于地应力 q_S。前面已经提过，地应力 q_S 主要是新构造应力。是有一定的区域性的，故可以用同一新构区域的地应力实测数值来代替。如果所预测的新区无此项区域资料，就须进行地应力实测，以取得 q_S。有了 q_H 及 q_S，就可以用式（6－11）得出 Q。

求出了 K_0 和 Q（或 c），则式（6－43）及式（6－45）中所需参数全部为已知，就可以据以绘出该新区的 P（h）曲线和进行突水预测。

二、剪切破坏突水预测方法

前面已经指出：在正常情况下，煤矿底板一般不易发生剪切破坏突水，只有某些抗剪强度极低的断层或破碎带承受强大的剪切力时，才有可能发生剪切破坏突水。因此，预测能否发生剪切破坏突水时，只须有的放矢地对那些将要承受强大剪切力的断层或破碎带进行抗剪强度研究即可。这些断层或破碎带为：①与采煤工作面平行的高角度断层或破碎带；②平行并紧靠运输大巷的高角度断层或破碎带。对这些高角度断层面及裂隙面取样进行抗剪试验或摩擦试验，即可得出式（6－54）或式（6－56）中的内摩擦角 ϕ 及凝聚力 c 如为摩擦试验，则所含 c 等于零。

至于式（6－54）或式（6－56）中的支承压力 $H_0\gamma_{顶}$ 及作用于底板的矿山压力 Q，在老区可用实测数值，在新区可用比拟数值。

式（6－54）或式（6－56）所计算出来的临界水压值 P。如小于实际水压值，则该断层或破碎带会发生剪切破坏而突水；大于实际水压值则安全。

还应当指出：这里所预测的突水断层，不包括那些导水断层；而是指原来不导水，受到剪切破坏以后才导水的断层。

第五节　底板水的防治

底板水的防治，是一个非常重要、非常复杂、难度很大、涉及面很广而又耗资巨大的问题。40年来，我国许多煤矿对底板水做了大量的工作，积累了大量的经验和教训，现已基本形成了一套比较完整的防治底板水的方法。

1. 利用底板隔水层带压开采

我国北方的太原组煤层与中奥陶统石灰岩含水层之间，南方的龙潭组煤层与茅口灰岩之间，都存在着不同厚度的隔水层或相对隔水层。这无疑是个有利条件，我们应当加以充份利用。对于那些隔水层（或相对隔水层。下同）厚度普遍大于临界厚度值的矿区，井田或采区，我们不须进行任何防治底板水的工作就可以安全开采。对于那些隔水层厚度等于或略小于临界厚度值的矿区、井田或采区，通过疏水降压，将下伏含水的水头压力降至临界水压值以下，亦可安全开采。此项疏水降压工程一般比较简单，只须在采煤准备巷道中打可控式底板放水钻孔，进行超前降压（图6-23），即可安全采煤。

采后（在巷道塌毁以前）将钻孔关闭，以减少排水费用。随着采煤工作面的前进，放水孔排亦不断向前推移。当下伏含水层的水头压力过高（大于4～5MPa）时，井下放水钻孔施工就很困难，此法不宜采用。

采煤工作面推进方向

煤　放水钻孔　已关闭放水孔

图6-23　利用底板放水超前降压示意图

2. 加厚和加固隔水底板

当隔水底板厚度显然小于临界厚度值，须用大流量大幅度降低水压，井下放水很困难或费用太高时，可用底板注浆的办法将下伏含水层顶部的岩溶、裂隙封闭，使其变为相对隔水层，以加厚隔水底板至大于临界厚度值，从而达到安全采煤的目的。这一方法的效果，取决事先对下伏含水层顶部的岩溶、裂隙分布情况是否有比较清楚的了解以及注浆工艺是否恰当。故事先宜用物探方法查明下伏含水层顶部的岩溶、裂隙分布情况，并在此基础上制订适应的注浆工艺，注浆才能达到预期的效果。这一方法，在井陉肥城各矿及峰峰四矿，已成功地采用。预计今后会有更广泛的应用前景。

那些断层众多、裂隙非常发育的碎裂底板，不仅其岩体抗张强度极低，而且底板本身就是一个与下伏岩溶含水层有密切联系的裂隙含水层。煤层开采时，在水压与矿压的联合作用下，原有的含水与导水裂隙进一步扩大，导致下伏岩溶含水层中的水大量突入矿井。

对这类底板，必须采取超前探水和注浆，既可以封闭导水裂隙，又可以加大底板岩体强度，以达到安全采煤的目的。河北井陉矿区就是这样做的，取得了较好的效果。但是注浆深度必须超过矿压破坏带的深度，否则随着采煤工作面的推进，已经注浆加固了部分又会被矿压重新破坏，达不到加固的目的。

3．利用构造切割，分而治之

当底板隔水层的厚度很薄，须大幅度降低水压，而下伏含水层的含水性又很强，分布也很广时，疏水降压工程势必非常浩大，甚至在技术不可能或经济上不合理。但如存在断层纵横切割，将本来分布很广的含水层分割为若干四周封闭或基本封闭的块段，情况就大为有利了。即使下伏含水层的岩溶很发育，导水性很强，也会由于补给条件差，每个块段内的水量总是有限的。我们可以利用这个条件，对某个或某些封闭或基本封闭的块段进行疏水降压，将收到事半功倍的效果。这样的封闭或基本封闭块段，几乎各矿区都有。问题在于我们如何去正确地分析研究它们，如何果断地去利用、开发它们。

4．用注浆帷幕封堵缺口

对于那些四周大部封闭，尚未完全封闭的块段，可用孔排注浆，形成地下防水帷幕，以封堵缺口，使其变为全封闭的块段，然后在其中进行疏水降压，水量就会小得多，水压降低也快得多。但事先必须确切查清缺口的具体位置、宽度、深度、厚度、岩溶裂隙的发育情况及水动力条件，选择适当的注浆工艺，才能达到预期的效果。

5．留设防水煤柱

当断层下降盘一侧的煤层与上升盘一侧的含水层直接接触或相距很近时，可沿断层带留设一定宽度的防水煤柱（图 6－24），使采煤工作面至断层的最短距离 h_1 乘以强度降低率后仍大于临界厚度，即可安全开采。留设防水煤柱的办法还可用预防导水陷落柱突水。无论是断层还是陷落柱，都必须事先查清其具体位置。

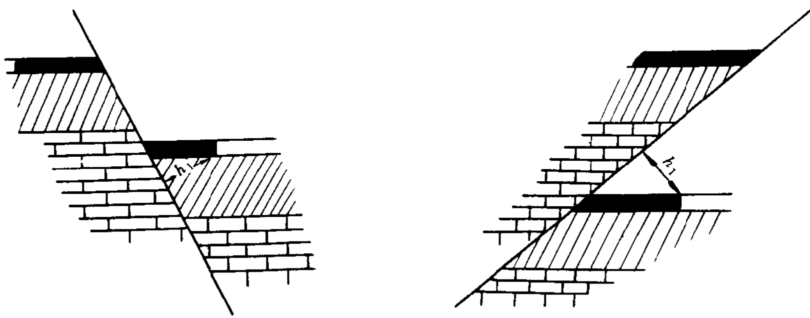


图6－24　留设断层防水煤柱示意图

6．局部注浆止水

如底板隔水层的厚度已大于临界厚度，在正常情况下可以安全开采，只是在掘进或回采中遇到了个别断层或陷落柱突水，此时可在查清断层或陷落柱的具体情况的基础上，进行局部注浆止水。但必须注意，这一办法不宜用于那些隔水底板的正常厚度小于临界厚度时的突水。否则堵住了这里，又在那里突，以致堵不胜堵，最终还是无济于事。

7. 地面防渗堵漏

在煤层底板下伏岩溶含水层的露头部位，如有地面水流（河流、水渠）通过时，地面水往往大量漏失而灌入矿井。如河流水很大，漏失段不很长时，进行河床防渗堵漏工作，往往能使矿井涌水量显著减小。此外，在那些即使没有经常性水流的地段，如果存在喀斯特漏斗、岩溶洼地等，在两季往往导致地表降水大量汇入矿井，使矿井涌水量骤增。进行地面填堵工作，将会有效地减小两季的矿井涌水量。

8. 设置防水闸门

对于那些有突水危险而又不易防治，或虽采取了防治措施，但仍未能确切排除突水的可能性的采区，为了防止意外，可在通向该采区的巷道的出入口处选择有利位置，设置防水闸门。一旦发生突水，就立即撤退人员，关闭闸门，以防止水患的扩大。对闸门的坚固性与灵活性，平时必须注意检查，以免临时关不上。这样的教训是不少的。

9. 改变采煤方法

对于那些隔水底板厚度较薄，突水威胁严重，而又无其他有效防治办法的矿井或采区，如改用适当的采煤方法，往往能化险为夷。例如短壁开采，房柱式开采、砌充填带以至充填法采矿，都能减小矿压和提高隔水底板抵抗水压的能力；快速回采、人工放顶，则能缩短悬顶时间，避免或减少底板岩体因蠕变而降低其力学强度的危险。但短壁开采、房柱式开采，会降低采煤效率，损失煤炭资源；充填法采矿会增加采煤成本，非万不得已，不宜采用。

10. 深降强排或多井联合疏降

当底板隔水层的厚度虽很薄，但下伏含水层的规模不大，补给水量有限时，可以考虑加大矿井的排水能力，进行深降强排，将下伏含水层的水头降至临界水压以下。我国南方的许多煤矿还把运输大巷直接掘在煤层底板下伏的茅口灰岩之中，既安全，又不压煤。但如果下伏含水层的分布规模较大，补给水量很丰富时，用一个矿井进行强排是无济于事的，而且经济上也不合理。此时，如无别的可供选择的防治水方法，还可考虑用几个矿井同时并进，联合疏降的办法。湖南的恩口、斗笠山、煤炭坝等煤矿都是这样做的。这种深降强排的办法，对地下水资源破坏很大，故只宜用于水资源不成问题的地方（如我国南方），一般不宜采用，尤其缺水地区应予禁用。

以上列举的是我国煤矿防治底板水的几种最主要的方法。还有一些其他方法，如超前探水，先探后采；建立井下及地面观测网，进行流量水位观测以及突水预兆监测等日常性工作，就不在此一一列举了。

这些防治水方法，应根据每个矿井或采区的具体水文地质条件，选用一种或同时选用几种进行综合治理。

对于一个受底板水威胁的矿区，首先必须从全区着眼，对整个水文地质单元进行宏观研究，以便对矿区的水文地质条件有一个总的认识。然后根据矿区的具体地质及水文地质条件，分区分段，逐块分析，找出每个区、段存在的具体水文地质问题。针对不同的水文地质问题，因地制宜地制定不同的防治水方案。容易解决的先解决，暂难解决的往后放，等到条件成熟时再解决。这是一个矿区防治水工作所应遵循的一般步骤。可概括为十六个字：整体研究，逐块分析，因地制宜，先易后难。还应当强调指出，要想把防治底板水的工作搞好，还必须牢记：

①查清水文地质条件是做好防治水工作的基础；

②做好突水预测是防治底板水的中心环节；
③因地制宜是选用防治水方法的基本要领；
④保护地下水资源，保护环境是防治工作中必须注意的重要问题；
⑤把水害消灭在突水之前，是防治水工作的最大成功。

附表一

淄博矿务局黑山煤矿底板突水资料一览表

编号	井别	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm²)	突水量 (m³/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	二立井	十层二号下山北二上帮 10-2 煤工作面,后推 2m,前推 3m,出水	271.1～211.6	+88.5	142	5	8～11	15.2	1.9～2.6	奥灰	1967.11.15	28	37m 另有 0.3～0.9m 小断层 5 条	破碎带 0.4m
2	二立井	同上地点采 10-1 煤时未出水	267.1～207.1	+92.5	142	30	8	14.75	无	奥灰	1966.8～10	33		
3	三立井	十层北大巷上山采区北二以上 10-1、10-2 煤,全面回采未出水	234～211.1	+103.7	80	30	12	8.5	无	徐灰	1961.7～12	26.56	0.7	
4	三立井	同上地点,北二下帮溜子道,采 10-1 未出水,采 10-2 即出水	233～230.7	+101 以下	100	30	3	8.7	1.5～3.5	徐灰	1960.5～6	17.66	3.6	
5	三立井	北大巷下 10 行老北一	260.7～242.7	+75	120	32	3	11.3	0.99	徐灰	1960.5	24.09	14	
6	一立井	反 10 行 1180 下山于 -71.75～-92.07m 水平采 10-2 煤未出水	473～493	-92.27	150	30	8	33.2	无	奥灰	1970.1～1971.5	63.32	23	留 14m 煤柱
7	一立井	十层东大巷 2040 下山 2080 上山 1196 顺槽中部	345.7	±0	28		近水平	24	0.1	奥灰	1964.3	26	33	平行断层 24m 采煤
8	一立井	2040 下山东顺槽 270 小下山平行断层(落差 33m)38m 采煤未出水	329.3～310.4	+18	60	30	10	22.2	无	奥灰	1963.1～4	35	33	平行断层 38m 采煤

续表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
9	一立井	反十行1170北大巷下山东部沿落差23m断层留10~15m煤柱未出水	461.5~471.5	-70~-60	130	30	11	30	无	奥灰	1969.1~1970.8	40.32	23	留10~15m煤柱
10	一立井	反十行1170北大巷下山2189顺槽迎头在断层跟采煤未出水	479.88	-78.38	150	30	8	31.8	无	奥灰	1970.7~8	46.05	17	留10~15m煤柱
11	三立井	10层西大巷下山东五顺槽掘进接近断层时出水	288.9	+49	3	巷道	水平	13.9	1.48	徐灰	1964.2	13.79	14 9	断层跟出水
12	三立井	10层西大巷+80m水平以上大面积回采未出水	237.5~258.5	+80	85	30	7	10.8	无	徐灰	1962.1~7	27.79	0.46	
13	一立井	东大巷2040下山2200下山北顺槽掘进遇断层出水	318.7	+27	3	巷道	36 (上山)	21.3	0.62	奥灰	1965.5.5	19.7	10 11	
14	一立井	东部2080上山1190下山迎头掘进遇断层出水	346.3	-0.6	3	巷道	18 (下山)	24.1	0.05	砂岩	1964.1.25	21.2	0.7 1.5	两断层相距30m,出水在两断层之间
15	一立井	东大巷2040下山2080上山中间溜子道掘进遇断层出水	333.7	+12	2.5	巷道	水平	22.8	0.1	砂岩	1964.7	14.2	70	在断层影响带内出水
16	一立井	东大巷2040下山2080上山固定溜子道掘进遇断层出水		+12	2.5	巷道		22.8	0.4	砂岩	1964.9.14	14.2	7.0	在断层影响带内出水

续表

编号	井别	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
17	二立井	二号下山9054顺槽下帮掘进遇断层出水		+70	3.5	巷道		17	0.3	砂岩	1964.3		1.9	断层出水
18	二立井	二号下山9058顺槽掘进遇断层出水		+58	3.5	巷道		18.2	0.3	砂岩	1965.8.22		1.9	断层出水
19	三立井	西井西大巷十一层下帮溜子道		+80	2.5	巷道		10.8	0.05	徐灰	1965.1.24	20.79	1.3	断层跟出水
20	三立井	十一层1120下山1150上山1151上帮工作面		+90	70（三角煤的底）	50（三角煤的底）			0.611	徐灰	1973.5.30	21.59	0.5 0.45 0.5	面内有三条小断层与14m断层相交
21	三立井	十层西大巷下山西五顺槽门口掘进出水		+46	3.5	巷道		14.2	0.05	徐灰	1962.8	27.72		
22	三立井	十层西大巷下山2021顺槽迎头		+87		巷道			0.2	徐灰	1973.1.15	27.72	14	迎头接近断层出水
23	三立井	十层北大巷下山老北一顺槽迎头		+77		巷道			0.1	徐灰	1972.12	27.22	14	迎头接近断层出水

附表二

淄博矿务局双山矿底板突水资料一览表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
1	大井	十层一号下山东四二炭溜子道,在炭石推进24m时	314~339	-145.59	90	24	20	34.3	70	奥灰	1958.4.20~8.9	46.72	1.3	在断层跟出水
2	大井	十层一号下山东三及其上帮面掘进时出水,回采时加大	279~314	-129.8	120	30	20	32.7	2.33	奥灰	1956.3.10	48.02	33(逆断层)	工作面下伏奥灰断层带
3	大井	十层十号下山东二及其上帮面推进时出水,回采加大	237~279	-88.65	75	30	20	28.6	1.0	奥灰	1954	48.02	33	工作面下伏奥灰断层带
4	大井	十层一号下山东一及其上帮工作面	197~234	-45.269	75	30	20	24.3	无	奥灰	1953~1954	48.02	33	工作面下伏奥灰断层带
5	大井	下河老下山东一顺槽工作面	166~191	+50	110	30	19	13.5	0.42	徐灰	1957.10	24.6	7	在断层跟出水
6	大井	下河下山底西平巷下帮巷道	221	-4.5	3.5	巷道	20(下山)	18.9	0.266	徐灰	1957.8.9	24.6	6	在断层跟出水
7	新一井	二号下山东一十层头炭107面	233~258	+12	65	30	20	17.3	0.787	徐灰	1960.2.28	24.95		

续表

编号	井别	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
8	新二井	东三顺槽迎头二号下山车房后,回采后回砌巷道	223	+40	3.5	巷道(回砌时)	20	14.5	0.726	徐灰	1963.9.14	17.45	96	在断层跟出水
9	新一井	二号下山西十层头炭106面	248~274	+5	80	30	24	18	0.266	徐灰	1960.3.16	24.95		
10	新一井	老卜山北二十层二炭残采工作面	190	+88	110	20	24	9.7	1.63	徐灰	1962.8.26	22.61	2	在断层附近出水
11	新一井	同上,采头炭时无水	201~235	+89.5	110	30	24	9.5	无	徐灰	1961	24.11	2	在断层附近出水
12	大井	十层一号下山东四上同道沿头炭回采,二炭巷道出水	314~343	-154	90	三角煤底边60	20	35.2	0.04	奥灰(徐灰)	11956.12.10	48.02 (22.46)	3	在断层附近出水
13	新一井	二号下山人行道西四门口里掘进时出水	352	-73.48	3.5	巷道	水平	25.8	0.075	徐灰	1960.11.9	24.6	11	在断层下盘出水
14	新一井	三号下山西一回采工作面						14.4	0.1	徐灰	1965.4	23.43		

附表三

淄博矿务局夏庄煤矿底板突水资料一览表

编号	井别	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	一立井	180下山西二(192)顺槽上帮二炭工作面	204~223	-6	85	40	10	19.1	5.5	徐灰	1958.10.28	25.5	3.5	在断层下盘底鼓出水
2	一立井	109 下山 195 顺槽 1095 面	384~394	-25	66	30	15	20.5	0.6	徐灰	1970.4.21	28.38	0.5	在断层跟出水
3	一立井	在1095面出水的同时195面中间接车场也出水	403	-39	4.5	接车场	水平	21.9	0.25	徐灰	1970.1.21	28.38	0.5	在断层尖灭处
4	一立井	110 下山 103 顺槽上帮头炭面	262~280	+8	45		12	18.6	0.85	徐灰	1970.12	26.39	4	下头进 30m，上头接近 4m 落差的断层时来水
5	二立井	101 下山 104 顺槽 1005 头炭工作面	226~263	-73	110	30	17	14.8	0.2		1958.4.28	29.03		底板裂隙出水
6	二立井	101 下山 106 顺槽 1006 工作面(10-2 层煤)	263~277	-93	48~38		17	16.8	2.57~3.46	徐灰	1963.8.11	27.23		底鼓出水
7	二立井	西大巷 190 下山 192 宽巷	181~214	-35	80	30	17	21.8	0.977	徐灰	1962.6.7	24.52	破碎带宽 1m	当头炭回采来压时，二炭巷道出水
8	一立井	兴大区 190 下山 1093 面 10-1 煤出水		+26~+44	63	45	13	14.0	14.2~6.27	徐灰	1980.1.1	22.89	7 0.4	在断层交差点底鼓 0.3~0.35m

续表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
9	二立井	180下山1081二炭面前进258m时出水,280m时加大	424~469	-300	100	30	20	3.0	1.5	徐上砂岩	1976年6月底	11.49		底板裂隙出水
10	二立井	170下山1074、1076大片回采未出水,下限-173m	309~393	-176	120	30	20	14.6	无	徐灰	1965.12~1966.12	29.73		
11	二立井	101下山1002面在-54m水平以上大片回采没出水	182~232	-54	120	30	17	13.4	无	徐灰	1957.7~12	30.43		开采-54m以下时出水
12	二立井	120二节上山1036面开采下限+62没出水	86~124	+62	100	30	18	11.4	无	徐灰	1960.3~6	25.85		掘进+62m以下时出水
13	二立井	180下山1002面开采+30m以上5400m² 没出水	171~181	+30	50	30	18	15.2		徐灰	1958.9~10	25.5	5	开采+30m以下时出水
14	一立井	120下山138顺槽掘进遇断层出水	416	-183	30	巷道	水平	18.4	0.67	徐灰	1972.11.21	23.61	3	沿断层裂隙出水
15	一立井	+49m东大巷190回风道掘进接近断层	181	+50	3.0	巷道(上山)	12	14.4	1.6	徐灰	1975.11	18.39	12	沿断层跟出水
16	一立井	原兴大五号井于+132水平掘进遇断层出水	99	+132	3.0	巷道	水平	6.2	7.02	徐灰	1942.6.21	18.39	12	

续表

编号	井别	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm²)	突水量 (m³/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
17	二立井	120 二节上山 134 顺槽下壁掘进遇断层	156	+28	3.0	巷道	水平	15.7	0.75	徐灰	1959.10.20	20	14	
18	一立井	+50 水平兴大区 190 上山 1096 面 10-2 煤未出水	170.3	+59.7	100		15	7.5	无	徐灰	1978.11～1979.5	23.14	1～1.3	
19	二立井	十层 -240 东大巷 190 上山 1091 二炭面岩墙及断层附近	364～393	-230	120		17	42.5	3.25	奥灰	1970.6.23	49.02	破碎带宽 1m	在岩墙及断层跟出水
20	二立井	180 下山 1081 面		-306	100		25	48.6	0.59～1.593	奥灰	1976.7.2	56.8	0.1	
21	二立井	180 下山 1083 面		-322	90			48.56	1.49～3.7	奥灰	1977.7.25	56.8	2～0.4	
22	二立井	180 下山 1084 面		-362	130			54.95	3.253～4.17	奥灰	1978.8.15 1979.3.11	56.8		
23	二立井	1087 面 10-2 煤		-406	90			56.4	突水、水量不详	奥灰	1981.11.23 1981.12.19	56.81		前已出水
24	二立井	180 下山 1085 面		-380	195			51.93	0.4～3.16	奥灰	1981.11.13 1981.12.19	56.81		
25	二立井	1088 面 10-1 煤		-444.081	90			62.25	无	奥灰		59.81		
26	二立井	1086 面 10-2 煤		-392	44～64			56.1	无	奥灰		56.81		

续表

编号	井别	地　　点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm²)	突水量 (m³/min)	突水水源	时　间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备　　注
27	二立井	1086面10-2煤		-406.26	57			59.9	无	奥灰		56.81		
28	二立井	1008面		-420	90			56.7	0.948	奥灰	1984.3.6	56.81		
29	二立井	1007面		-417	9.0			52	44~18	奥灰	1985.5.14	55.9		断层出水、淹井
30	二立井	1085面		-387	102			51.93	6.176~5.23	奥灰	1981.1.6~5.23	56.81		
31	二立井	1083面		-357	94			48.56	3.789~1.02	奥灰	1977.2.22~10.29	56.81		
32	二立井	1061面10-1煤		-326~-330	90			50.2	无	奥灰	1990.9	56.94		
33	二立井	1061面10-2煤		-317	85	15		50.3	出水	奥灰	1990.9.18	53.94		
34	二立井	1061面10-2煤		-317	60			50.3	无	奥灰	1990.9后	53.44		
35	二立井	1061面10-2煤		-316	90	30		44.7	无	奥灰	1991.4	53.94		

附表四

淄博矿务局石答煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	九煤一号上山北三上帮902面推进30m底鼓出水	439～442	−269	100	30	8	41.8	0.4	徐上砂岩	1970.4.29	25.8	0.6	出水点距断层10m,呈丝状排列
2	同上地点,第一次出水后改由外向里采进20m出水	439～442	−266.6	100	20	8	40.8	1.6	徐上砂岩	1970.5.25	25.8	有0.4～0.8m断层6条	出水点周围有6条断层
3	一号上山北二上帮901面,在902出水回来,没水	422～442	−275	145	40	8	13	无	徐上砂岩	1971.6～12	29.4	0.3～0.9	工作面下部有断层4条
4	一号上山南二上帮904面推进20m出水	433	−281	100	20	8	19	0.266	徐上砂岩	1970.8.28	29.4	0.4	在断层附近出水
5	一号上山南一上下帮开采下限−310m,没出水	431～451	−310	120	30	6	18.1	无	徐上砂岩	1970.10～1971.1	33	0.4～2.5m断层5条	由于902、904已出水,水压已降低故未出水
6	一号上山南五下帮906面推进20～25m底鼓出水	459.7～457.7	−259	75	20～25	4	15.1	0.68	徐上砂岩	1972.4.17	25.8	0.5～0.8	在断层影响区内
7	910新上面9101面推进25m底鼓出水	509	−293.5	80	25	近水平	44.2	2.126	徐上砂岩	1974.2.12	26.43	1.0	在断层跟出水
8	910新上山9102外面前进22m时底鼓出水	509	−290.6	100	22	近水平	43.9	0.3	徐上砂岩	1974.4.4	26.43		

续表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm²)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
9	910新上山9102面推进48m时又出水	509	-289	40	48	近水平	43.8	3.19	徐上砂岩	1974.6.6	26.43		
10	910新上山9103面,当4号孔放水时不出水,关时出水	459～469	-294	90	30	4	10.7	0.3	徐上砂岩	1975.9.18	23.3		放水时压力0.55MPa,关时压力1.07MPa
11	同上,娄4号孔放水,压力为5.5kg/cm²时,不出水	459～469	-294	90	30	4	5.5	无	徐上砂岩	1975.7～10	25.88		4号孔放水量1.6m^3/min
12	910新上山北二上帮9104面在4m逆断层上升盘开采没出水	465～446	-293.7	90	30	4	7.4	无	徐上砂岩	1975.10～12	23.3		
13	南大巷两侧采区,开采下限-316.9m(九煤)没出水	450～453	-316.9	66 46	30	5	33.2	无	徐灰	1974.1～1975.1	43.8		
14	915反上山南二上帮9105面前进30m时底鼓出水	467	-263.7	70	30	2	4.6	0.2	徐上砂岩	1976.1	17.2	1.0	断层下盘出水,疏720放水0.256m^3/min后即不出水
15	-320大巷遇10m断层见十煤,掘进10m,底鼓出水	504	-315.5	4.5	巷道	水平	46.4 (36)	0.05	徐上砂岩	1973.5	11.46	10	在断层下盘出水
16	930上山9301下运输道		-257.85	36			24.118	0.234	徐灰	1979.1.17	30.6	0.5	上盘出水

续表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
17	930m 采区 9302 面下运输道		-247	37			19	0.35	徐灰	1979.3.7	31.1		
18	930 上山 930 面里头		-244	67			18.7	1.45	徐灰	1979.4.13	27.2	1.0	
19	930 上山 9304 面中部		-255	62			19.6	3.529(包括 1.45)	徐灰	1979.5.9	27.7	0.5	
20	930 上山 930 面外头		-260	60			18.4	3.688(包括 3.529)	徐灰	1979.5.28	28.2		
21	上山 9306 面里头		-259.7	60			15.37	1.018	徐灰	1979.6.2	27.6	0.6	
22	930 上山 9301 面		-257.85	50	40	12	24.19	0.234	徐灰	1979.1.17	31.1		
23	930m 区北二 9302 面		-247	60~40	50	9	19.1	0.35	徐灰	1979.3.7	28.2		
24	930 上山 9306 面中间		-268.3	55			15.23	2.747(包括 1.018)	徐灰	1979.6.15	28.2		

续表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
25	9306 面外头		−270	55			14.4	3.827 (包括 2.247)	徐灰	1979.7	28.2		
26	930 上山 9308 面中间		−290	30			15.4	1.2	徐灰	1979.8.20	27.2	1.0	
27	900 上山 9303 面中部下部		−261.4	58			12.54	0.573	徐灰	1979.8	29.9	1.0	
28	930 上山 9307 面中部		−295.5	70			16.35	0.6	徐灰	1979.10.22	28.93		
29	9307 面外头		−301	80			16.2	0.8	徐灰	1979.11.8	28.33	0.6	
30	930 上山新南大巷 9013 面中部		−307	46			16.1	0.25	徐灰	1980.1.8	25.95	1.0	
31	930 上山 9015 面外部		−318	75			16.2	0.8 1.3	徐灰	1980.5.7 ~5.15	26.95		
32	930 采区 9019 面中部		−310	44			15.4	0.05	徐灰	1980.3	26.45	0.5	

附表五

淄博矿务局寨里煤矿底板突水资料一览表

编号	井别	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	一井	南十行下山 102 工作面	183～197	-72	90	30	8	15.1	无	徐灰	1975.5～12	43.73 (42.73)	1.0	
2	一井	南十行下山 104 面遇落差 8m 断层仍未出水	164～196	75	100	70	8	15.1	无	徐灰	1975.10～1976.3	35.73	8	
3	一井	南十行下山底断层处一直采到断层跟未出水	204～214	-89.8	70	30	8	18	无	奥灰	1975	38.1	26.2	
4	二井	北斜井 -160 小下山一北溜子道掘进时底鼓出水	308.2	-205	2.5	巷道	20	17.1	0.46	徐灰	1970.4	37.2		沿裂隙出水，在向斜轴部岩石特别破碎
5	二井	北斜井 -160 小下山二炭工作面底鼓出水	272～352	-228	150	30	20	19.4 (偏高)	0.3	徐灰	1972.7	37.2		在向斜轴部
6	二井	二井一号下山底 -160 北大巷上帮工作面	213～252	-149	80	30	20	11.5	无	徐灰	1970～1971	37.2		
7	二井	二井 -160 小下山北翼十层头炭面无水，二炭面出水	258～330	-227.8	140	30	20	19.3	无	徐灰	1970.3～7	41.8		二炭距头炭 3m，厚 0.7m，位于头炭下

续表

编号	井别	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
8	二井	二井-24大巷迎头掘进遇断层出水	138.5	-16.5	4.2	巷道	水平	11.2	0.3	徐灰	1963.5.18	24.2	13	沿断层裂隙出水
9	二井	二井三号下山北三10-2层116面在落差4.8m断层出水	161~181.6	-50	100	40	18	14.6	0.8	徐灰	1964.2.18	32.4	4.8	沿断层回采出水
10	二井	二井-24大巷一号上山10-2层114面沿断层回采	120~141	±0	65	30	18	9.6	无	徐灰	1963.12~1964.3	32.2	5	
11	二井	二井三号下山三南上帮二炭110面沿4.5m断层采	146~161	-37	60	30	18	13.3	无	徐灰	1964	32.7	4.5	
12	二井	二井十层二号下山三南上帮二炭面采到断层跟	161~171	-40	35		15	13.6	无	徐灰	1960	30.99	4.9	
13	一井	一井十六号下山北二下帮工作面回采接近断层出水	215~230	-7	50	30	9	16.6	0.85	徐灰	1963.8.30	33.34	7	沿断层出水
14	一井	一井十层十二号下山三南下帮十层一、二、三炭连续采	278~295	-160	100	30	11	23.9	无	徐灰	1958	43.73	7	沿断层出水

续表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
15	一井	一井十层十三号下山底掘进遇断层出小水	320.4	-185.4	3.0	巷道	水平	26.4	0.05	徐灰	1958.3~4	38.53	5.2	断层出水
16	一井	二十二号下山北迎头掘进遇断层出水	194	-36.7	3.5	巷道	水平	11.6 (7)	0.3	徐灰	1964.6.20	25.77	2.3	断层出水
17	一井	二十二号下山回北二炭掘进时底板裂隙出水	237	-80	3.5	巷道	水平	11.6 (?)	0.3	徐灰	1964.9.10	25.77	2.7 (?)	断层出水
18	一井	二十一号下山北二掘进遇断层出水	252	-81.6	3.5	巷道	水平	16.1	0.2	徐灰	1964.10	29.3	1.5 (?)	断层出水
19	一井	二十一号下山三南掘进过断层出水	255	-84	3.5	巷道	水平	16.3	0.49	徐灰	1964.8.29	29.3	4.5 (?)	
20	北大井	75号北大巷80m轮子坡顶10~2m	191.5	-81.5	30		1	18.1	443	奥灰	1935.5.13	37.02	30	断层出水

附表六

淄博矿务局洪山煤矿底板突水资料一览表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm²)	突水量(m³/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
1	一立井	一号反十行下山底－67水平以上采10－1行四个面	197～219	－67	90	30	5	9.4	无	徐灰	1970.12～1971.8	36.38		
2	一立井	10－1层下山－200南大巷上帮工作面前进30m	369.6～385.6	－190	120	30	10	21.7	0.7	徐灰	1973.5.底	41.38		
3	一立井	10－1层下山十一北上帮工作面在－200上帮出水前回采	358.6～369.6	－174	80	30	5	20.1	无	徐灰	1973.5～6	41.38		
4	一立井	10－1层下山 200南大巷下帮工作面推进30m	359.6～417.6	－215	130	30	5	24.2	1.0	徐灰	1974.1	40.88	0.55	沿断层出水
5	三立井	+20南大巷下山北上帮工作面(10－2层214面)进40m	136.4～148.3	－21	80	40	8	12.5	2.0	徐灰	1964.9	29.11	1.5 0.8	在断层附近
6	三立井	+20南大巷北三以上水平大面积回采，下限－2m	103.4～128.4	－7	80	30	8	11.1	无	徐灰	1964.1～6	29.11		
7	三立井	+20南大巷6北小下山A_1号孔附近	175.4～181.4	－56	70	30	1	16	1.5	徐灰	1964.10	29.11		
8	三立井	+20南大巷西北下帮215工作面	159～171	50	50		10	15.3	2.4～2.8	徐灰	1964.10	29.11		

续表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
9	三立井	五北下山三南上帮1012头炭面推进54m时	176～190	－74	110	54	8	17	3.75	徐灰	1965.12.5	24.45		
10	三立井	±0北大巷上山采区全面回采,没出水	101～116	＋25	110	30	6	42	无	徐灰	1976.1～10	32.36		
11	三立井	±0南大巷下山－80水平以上全面回采没出水	141～221	－80	70～80	30	8	12.7	无	徐灰	1974～1976	29.9		
12	三立井	＋50南大巷新下山六南上帮204面	166～173	－43	90	30	7	10	0.78	徐灰	1973.8.25	26.8		
13	三立井	＋50南大巷新下山五南上帮工作面	158～165	－35.1	50		7	9.2	无	徐灰	1973.2～5	26.8		
14	三立井	＋50南大巷新下山八北下帮10层二、三炭残采工作面	202	－70	50	穿采洞宽3cm	7	12.7	0.2	徐灰	1971.11.23	24.5		
15	二立井	七反十行下山北三以下掘进遇落差1m正断层	298	－183.64	3.5	巷道	6	24.6	0.8	徐灰	1972.4	29.91	1.0	沿断裂带出水
16	三立井	五北下山主巷三北以下50m处掘进出水	206	－89.6	4.5	巷道	8	14.7	0.516	徐灰	1968.5.27	25.54	1.0	

续表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
17	三立井	五南下山主巷北以下80m掘进逆断层	178.5	-48	4.5	巷道	10	10.5	0.3	徐灰	1965.10	21	3.5	沿断裂带出水
18	二立井	二井十行-200延深下山掘进遇8~13m断层出水	375	-280	3.5	巷道	7	33.7	0.05	徐灰	1976.10.16	16.91	1.3	沿断裂带出水
19	二立井	十层-200南大巷上帮工作面(1011头炭)推进30m时	308	-197.6	126	30	8	25.5	3.05	徐灰	1978.10.26	34.01		
20	二立井	十层-200南大巷下帮头炭1014面	340	-211	195	30	7	21.1	2.0	徐灰	1978.9	34.01		
21	二立井	十层-200南大巷下帮头炭1012面	356	-229.96	160	30	9	28.7	0.5	徐灰		1978.6	34.01	
22	一立井	十层头炭-200北大巷二号下山南帮工作面	303	-193	105	25	4	19.3	1.3	徐灰	1929.2	42.28		
23	一立井	十层-200北大巷一号下山二南上帮面底鼓出水	342	-210	160	30	7	26.7	1.8	徐灰	1977.3	42.28	27	出水在断层下盘
24	二立井	十层-200下山北采区	425	-320	230	倾斜采煤	7	38.89	无	徐灰	1979.5~1980.3	38.48		

附表七

淄博矿务局埠村煤矿底板突水资料一览表

编号	井别	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	一号井	东北石门下山北三上帮 1002 工作面	213.8~239.8	-30	92	30	10	11.2	0.8	徐灰	1971.4.12	29.56	5	
2	一号井	同上无断层处大面积回采	213.8~239.8	30	80	30	10	11.2	无	徐灰	1971.4~5	34.56		
3	一号井	东北石门下山北三上帮 10-1 层 1007 工作面	239~259	-66	74	30	10	14.6	4.27	徐灰	1973.5.27	34.06	0.5	裂隙宽能伸进手臂
4	一号井	东北石门下山 1006 工作面推进 13m 时，底板出现 5~6 个出水点线状排列	215.8~233.8	-38	50	13	10	10.7	0.3	徐灰	1975.7.21	28.93	8.5	
5	一号井	同上，1006 面离开 8.5m断层影响带后，大面积回采没出水	215.8~233.8	-38	90	30	10	10.7	无	徐灰	1975.8~10	37.42		
6	一号井	东北石门下山南三下帮 1008 下面推进 2m 出水，13m 加大，50m 再加大	261.97~281.97	-80	76	13;50	14	18.7	0.075 1.82 6.45	奥灰	1975.9.14 1975.9.18 1975.11.12	35.8	11.5~15	面底部有 0.5~10m 破碎带水量后者包括前者
7	一号井	东北石门迎头 10-1 煤上山采区回采面积 $68900m^2$，构造复杂，没水	166.45~138.05	+25	120	30	12	5.7	无	徐灰	1970.1~5 1971.1~12	37.42	0.5~1.0 断层共 9 条	在断层跟采煤

续表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
8	一号井	东北石门迎头8～15m断层跟大面积回采,也未出水	159.45～138.05	+32	78	30	12	5	无	徐灰	1972.2～6	31	8～15	平行断层留煤柱20m
9	章丘红旗(琅沟)煤矿	文祖断层东琅沟矿9层煤±0水平以上大面积回采未出水	52～86	±0	80	30	10	7.3	无	徐灰	1970～1976	46.53		
10	绣惠公社煤矿	采10-1煤奥灰未出水	110	-4			10	7.7	无	奥灰	1976前已采数年	32.7	4.2	在断层跟回采
11	绣惠公社煤矿	同上,765面徐灰出水,随深开采面下移	110	-4	50	30	10	7.7	1.0	徐灰	1976.10.6调查前	20.18	4.2	在断层跟回采
12	埠村西部黄河煤矿	西井采10-3煤淹井	94	+46			20	4.2	4.0	徐灰	1973.7～8	17.37		
13	埠村西部黄河煤矿	东井采10-1煤没出水,采10-3煤就出水了	110	+30			20	5.8	无	徐灰	1973～1975	31.58		
14	埠村西部平陵煤井	主井采10-1煤,没出水	114	+31			15～20	5.7	无	徐灰	1973～1976	31.58		

续表

编号	井别	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
15	平陵煤井副井	副井见10-3煤,开下山20m	出水	100	+45	巷道	15~20	4.3	0.8	徐灰	1996.1	17.37		
16	埠村区西芦煤矿	大面积开采10-2煤,见落差6~7m断层,也未出水	140	-60				12	无	奥灰	1970~1976	50.42	6~7	
17	一号井	东北石门下山1006面在8.5m断层附近开采,奥灰未突水	215.8~233.8	-38	90	30	10	14.5	无	徐灰	1975.8~10	38.8	8.5	采区底部有0.5~2.0m破碎等
18	一号井	东北石门下山南三1008上面三角煤壁处	261.8	-66	35	18	10	17.3	0.67	徐灰	1975.11.12	38.8	8.5	采区底部有0.5~2.0m破碎带
19	一号井	东北石门下山南二迎头遇断层出水	247.2	-51.4	4.0	巷道	10	13.4	0.10	徐灰	1975.10.18	28.32	0.6 0.2	沿断层出水
20	三号井	-80水平九、十层上山主巷掘进370m时遇落差16m断层出水	129	-4.0	3.5	巷道	18	8.4	0.726	徐上砂岩	1976.1.25		16	下盘砂岩出水

附表八

肥城矿务局陶阳煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	9404 面			90			5.64	25	5 灰	1972.8.24	32.97		倾向采煤紧接 5 灰顶板有3~5m砂岩、
2	9203 面		−7.8	75	40		6.75	23.5	5 灰	1956.6.17	32.97		从突水量来看，应为砂岩水，但隔水层厚度
3	9201 面		2.0	105			6.27	65	5 灰	1978.11.18	32.97		是煤层底板至 5 灰顶板的距离
4	8810 面		−120.8	100			18.21 (21.4)	15.0	5 灰	1980.11.16	37.66 (40.7)		
5	103031 面		−5.5	50~70			6.5	5.0	5 灰	1981.1.10	22.97		
6	8810 面			100			16.87	26	5 灰	1981.3.9	37.66		
7	9408 面		−6.8	160			5.97	7.5	5 灰	1981.12.31	32.97		
8	8811 面			80			15.33	3.0	5 灰	1982.5.14	37.66		
9	9501 面		−8.2	110	40		6.77	36	5 灰	1984.10.19	28.69		
10	9402 面			100			4.3	无	5 灰			32.97	
11	103032 面			100			6.22	无	5 灰		22.97		

续表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
12	10103 面			80			5.7	无				22.97	
13	9406 面			65			6.13	无			32.97		
14	103033 面			140			6.0	无			22.97		
15	8808 面			100			13.05	无			37.66		
16	9404 上安全道						5.5	50		1972.3.13	29.00		
17	9501 面						6.3 (9.3)	36		1984.10.19	25.0		
18	9507 面			160	30		11.0 (14.2)	17940		1985.8.6	25.0 (27)		
19	8810 面		-113.6				21.0	113.0	5 灰	1981.1.16	40	0.2	揭露断层
20	9202 面						7.2	44		1971.5.2	26		
21	9902 面						6.6	556		1971.7.5	22.26		
22	9901 面		±0	90	20		6.0	1080	5 灰	1971.10.11	14.26	12	靠近东 8 号断层

续表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
23	10400(掘)		−7.0				6.7	6.6	5灰	1967.11.17	28		沿断层面出水
24	9404(掘)		+3.4				5.7	2.4	5灰	1972.5.7	33		接近断距 1.1m 断层
25	9404 面		+2.0				5.8	2.8	5灰	1972.5.5	33		
26	9203		1.0				6.0	6.6	5灰	1975.8.8	37		
27	9203		−7.3				6.7	7.8	5灰	1975.10.8	37		位于向斜轴部靠近 0.8m 断层
28	8500(掘)		−68				12.8	8.5		1978.3	30		
29	10205(掘)		+4.7	100			5.5	7.0	5灰	1978.10.17	25		靠近 F 西 1 断层
30	−30 水′E(掘)		−71.5				13.2	12.0	5灰	1979.5.15	30		揭露 F_2 断层 7 层底板出水
31	9201 面		+4.5				5.6	2.0	5灰	1979.9.10	37		
32	9201(掘)		+2.2				5.8	14.0	5灰		1980.3.30	37	
33	8810		−109.5	100			17.0 (20.6)	26.0	5灰	1981.3.19	42 (40)		

续表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
34	9802(掘)		−6.1				6.6	3.1	5灰	1981.1.24	26		
35	8810		−116	100			16.5 (30.6)	23.0	5灰	1981.4.12	42 (40)		
36	10400(掘)		−4.5				6.5	5.0	5灰	1981.5.19	28		
37	9406		−1.2	80			6.1	8.0	5灰	1981.7.12	33		揭0.6m逆断层
38	10403		8.15	120			5.3	8.0	5灰	1981.7.17	23		揭0.2m逆断层
39	8811		−125.6	28			18.6	6.5	5灰	1982.9.13	37		揭1.0m断层
40	8811		−102				16.2	3.0	5灰	1982.5.14	37		
40	9804头(掘)		−9.2				6.9 (9.9)	10.6	5灰	1982.6.23	30		揭西6号断层
42	9902		−6.5	100	30			55.6	5灰	1971.4.8	38		
43	10406切眼		−55	90			6.55	2.0	5灰	1986.6.17	25	0.4	
44	10406运中巷		−0.2				6.02	2.8	5灰	1986.7.16	28.1		

续表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
45	10406 轨中巷		+2.1				6.02	5.0	5 灰	1986.7.29	28.1		
46	10404		+2.2				8.8	14.0	5 灰	1986.8.4	24.08		
47	9201 头(掘)		2.2				8.8	14.0	5 灰	1980.3.30	30.0		
48	10405 机道		-1.0				4.0	10.0	5 灰	1989.5.9	30.8		
49	中西翼泄水仓		-58.5				9.6	26.0	5 灰	1989.5.9	30.8		
50	-350 东副巷		-341.1						砂岩	1989.10.25		3.0	3 上煤
51	10401 面		+3.0	90			5.4	1.0	5 灰	1990.8.20	22.4		
52	10405 东面		-5.0~-0.5	110			7.7	35.1	5 灰	1990.10.24	28.62		
53	9503 面		-110	110				6.0	5 灰	1990.11.20	25.2		

附表九

肥城矿务局大封煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	10202 面		−2.8					28.0		1968.12.28			
2	9204 面		−49.6	90	50		10.9	1628		1969.6.29	15.0	3.2	
3	9204 面		−36	88	31		9.6	39.6		1970.5.18	18.0		
4	9405 面		−48.2	90			10.3	630		1977.9.7	19.4	0.25	
5	9405 面		−42	90			10.2	161		1977.10.25	20.0		
6	9405 面		−48.5	88			10.8	330		1977.11.10	20.92		
7	9200 底车场		−51.5		巷道		11.2	20		1978.3.11	20.5		
8	9306 面		−5.0		18		6.5	21.2		1979.9.7	12.0		无无名灰岩
9	9105 面		−41.3	110	25		9.4	34.4		1982.2.21	12.0		无无名灰岩
10	10105 面		−41.3	80			9.6	27.5		1993.5.18	8.5		无无名灰岩
11	10105 面		−45	80			9.74	32		1983.6.24	8.5		无无名灰岩
12	9308 面		−40.1	80			9.5	26.1		1980.11.11	12.0		
13	10204 上面		−26	80			7.8	36.1		1985.12.10	17.5		
14	10204 下面		−40	70	43		9.5	2150		1986.4.28	17.5		
15	9317 面		−122	70	50		11.3	72.2		1987.12.13	23.7		

附表十

肥城矿务局相庄煤矿底板突水资料一览表

编号	地　　点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时　间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备　注
1	9100 轨道上山		±0		巷道		6.0	8.0	五灰	1973.3.19	27.5		断　层
2	9305 面		+2.51	100			5.75	18.0	五灰	1978	27.0		接近断层
3	9307 面		-0.3	51			6.0	20.0	五灰	1980.7.1	28.8		接近断层
4	10305 第一贯眼		4.0		巷道		5.2	28.0	五灰	1982.11	21.4		靠近 F_{111-1} 断层
5	9309 回风道		±0		巷道		6.0	5.0	五灰	1983.12.12	25.4		YF_{111-1}上盘
6	9109 运中巷迎头		-24.89		巷道		8.49	721.0	五灰	1985.4.1	26.0 (18.0)		二条断层总落差 17m
7	9109 上风巷迎头		32.0		巷道		9.2	4409.0	五灰	1985.5.27	26.0 (5.0)		二条断层总落差 26m
8	9510 轨中巷		-49.0		巷道		10.0	22.0	五灰	1986.6.11	21.55		
9	9207 面		+9.0	160	50		3.5	42.0	五灰	1988.12.23	27.0		
10	10510 运中巷		-45		巷道		7.7	18.9	五灰	1990.2	20.0		
11	10307 运中巷		2.1				5.8	10.0	五灰	1984.11	21.4		F_{111-1}断层
12	9505 轨中巷		-8				6.8	10.6	五灰	1986.1	24.6		断　层
13	9507 面		-32				9.2	5.0	五灰	1986.3	24.1		

附表十一

焦作矿务局九里山煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
1	1203面下配风巷		−113.2		巷道	13	22.4	0.44	L_8	1982.1.26	25.2		
2	12皮代上山下起坡点向上66.4m交叉点上79m		−191.4		巷道		27.5	35.76	L_8	1982.8.13	7.0	0.5	
3	一二铸石槽上山自改造巷起向上48m处		−196.725		巷道		27.5	2.4	L_8	1983.1.9	21.5	0.5	小断层出水
4	11021回风一一辅助上山以西23.2m		−55.35		巷道		11.4	2.25	L_8	1983.4.26	22.2(距钻孔3m)		封闭不良钻孔出水
5	12131面开切眼以西23m	186.89～204.89	−92～−110	90	23	13	18.8	27.0	L_8	1983.7.6	20(23.31)		
6	12021面切眼以东21m运输巷起终点8m	171.3	−78.3	110	21	14	15.0	13.91	L_8	1983.9.12	20(20.8)		
7	11021面回风巷下22.2m煤墙距二横贯49.8m	163.0	−58.0	120		15	12.3	0.52	L_8	1984.10.28	21.5	1.0	断层出水
8	12011面1#切眼以西43m	167.5	−73	75	43	16	10.3	11.57	L_8	1985.6.3	20(19.9)		
9	12041集中巷一横贯西23.1m		−114.13	50		11	14.0	7.7	L_8	1985.7.18	18.8	0.6	
10	12021面改造运输巷口以西18m,往上3.5m	162.5	−68.5	84			14.36	1.07	L_8	1985.7.31	21.2		
11	11022面上风巷拐2以西85m,下风道上22.5m	178.68	−84.18	52	36	14	11.9	1.52	L_8	1985.10.2	23.1		
12	11022面中横贯西234.5m,运输巷上5～15m	180.54～183.28	−86.04～−88.78	55	74(距切眼)		11.8	0.6	L_8	1985.10.28	23.2	1.0	

续表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm²)	突水量(m³/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
13	12011 面 2# 切眼西 40m 运输巷上 52.6m	153.5	-59	86	40	15	11.0	0.87	L_8	1985.11.10	20.2		
14	1202 面运输巷一横贯西 234m,运输巷上 25m	166.0	-72	87~103	71(距切眼)	15	11.0	6.33	L_8	1986.4.10	18(21.3)		
15	11022 面上回风车场西 168m 回风巷下 16m	153.46	-58.46	128			11.0	2.5	L_8	1986.9.4	21.5	1.0	断层出水
16	11051 面运输巷上 21m,切眼西 23m	232	-135	112	23	13	15.0	0.43	L_8	1986.10.25	23(23.5)		压力增大,沿煤出现裂隙 70 余米,沿裂隙出水
17	11061 面切眼东 10.5~14.5m 运输巷上 5.5~44m	165	-125	114	10.5~14.5	10	13.0	1.4	L_8	1987.4.8	23.1		
18	12031 面回风巷与改造切眼交点处	174.23	-79.23	113	24	12	10.0	6.8	L_8	1987.9.25	22.5		
19	12031 面 3# 切眼西 27m,改造运输下帮	194.3	-100	90	2-1	12	9.2	9.8	L_8	1988.10.28	20(22.2)		初次来压有沿煤墙切断现象
20	11012 面		-87.2	138			7.7	无	L_8	1987.7	10.03(30.07)		
21	11051 面		-143.2	128		14	14.3	无	L_8	1987.2	22.19(42.19)		
22	11011 面		-132.33	114			11.2	无	L_8	1987.5	7.52(27.52)		
23	11012 面		-86	124			16.7	无	L_8	1986.1	31		
24	11022 面		-86.7	124	40		15.4	无	L_8	1984.1	26		

附表十二

焦作矿务局中马村煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
1	副井临时水仓	301	−164		水仓		25.66	109	L_8	1958.3.23	20.0	2	122min 淹巷 12748m^3，底鼓过腰线
2	井下机电库正前	296	−160		巷道		25.7	25.0	L_8	1958.10.17	20.0		距上次突水断层20m，底鼓约1.5m
3	西大巷口	298	−160		巷道		21.5	16.0 (23.5)	L_8	1966.2.4	22.56−3.0 =19.56	3.0	
4	东总回风三横贯东 10m	252.7	−107.5		巷道		9.7	8.0	L_8	1969.7.7	7.0		
5	第一溜煤眼东 2.4m	294.6	−156		巷道		10.3	4.0	L_8	1969.8.22	4.0		
6	流水巷与第一皮带巷连通巷口	295.6	−157		巷道	12	10.3	7.2	L_8	1969.9.20	6.0		
7	流水巷一横贯西 14m	297.9	−158.3		巷道	10	9.8	0.3	L_8	1969.9.26	2.8		
8	东大巷一横贯外 47m	294.6	−156		巷道	10	10.1	1±	L_8	1969.12	3.0		
9	东大巷二横贯西 48m	294.9	−156.3		巷道	10	6.9	6.0	L_8	1970.1.21	3.7		

续表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
10	东大巷二横贯西25m	294.9	-156.3		巷道		6.9	7.9	L_8	1970.1.21	3.7		
11	846测点西40m上帮	298.8	-151.8		巷道		5.2	1.0	L_8	1971.3	0.9		
12	2111面	304.6	-165.6	100	23		7.8	3.0	L_8	1971.3	0.9		
13	距东大巷中22m	296.6	-158		巷道		3.5	10.0	L_8	1976.11.9	1~1		
14	二三下山西水仓(北仓)	391	-253		巷道		3.5	10.0	L_8	1979.12.23	7		
15	23061面	337.2	-198	75	20		28.5	128	L_8	1985.11.12	8		全矿淹没
16	老改造巷Ⅰ125点东	302.8	-157.8		巷道		$L_8$3.0 ($L_2$24.5)	7.47	L_8 (L_2)	1988.9.25	11.5		
17	25011面	390.71	-195.9	100			6.5	无	L_8	1983.2	21.0		
18	21031面	336.0	-196.0	40	50		8.1	无	L_8	1984.2	20.5		

附表十三

焦作矿务局演马庄煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	101 面(12031)	112~102	+5~+15	120		10	8.1	15	L_8灰岩	1961.10.31	20.0		顶板来压
2	西大巷正前	185.66	-70.3		巷道	水平	17.2	1.2		1964.9.16~12.6	9.0		底鼓 0.6m
3	12121 面回风巷	167.3	-54	96	31	10	13.0	89.0	L_8灰岩	1964.9.30	15.0		底鼓、压力增大
4	1231 面	115~108	+2~+9	124	37	10	7.4 (7.1)	11.89	L_8灰岩	1964.12.20	20.0		
5	12121 运输巷	182.4	-69	96	31	10	14.4	6.0	L_8灰岩	1965.1.14	15.0		
6	1281 面	159.9	-45	80	32	8	12.01	12.4	L_8灰岩	1965.1.17	21.0		
7	1281 上回风道距三下山 14m	150	-35	80		8	11.0	6.0	L_8灰岩	1965.7.3	21.0		
8	12011 放水巷	142	-26		巷道	8	9.2	1.3	L_8灰岩	1965.12.9	2.8		底　鼓
9	西大巷正前，六横贯西 248m	184.6	-69.6		巷道		13.47	14.5	L_8灰岩	1982.9.4	2.5	2.3	断层破碎带出水，顶板来压，底鼓 1.3~1.4m
10	-200 大巷拐 4 点前 6.5m	304	-198		巷道		20.8	2.2	L_8灰岩	1975.5.18	0.8~1.0		
11	-200 大巷 2 点前 19.5m	304	-198		巷道		20.4	12.0	L_8灰岩	1975.5.25	0.8		
12	-200 大巷 2 点前 19.5m	304	-198		巷道		20.36	19.0	L_8	1975.6.15	0.8		
13	1441 回风道距突水点 225m	169	-52		巷道		12.2	120~140	L_2、O_2	1977.8.19	34(距 L_2) 54(距 O_2)		支柱折断，底鼓 0.3~0.5m 长 28m，位于断层夹灭处
14	-200m 水平东大巷二一轨道下车场轨道向北 9m	300	-195		巷道		25.8(L_2) 28.2(O_2)	240.5	L_2、O_2	1979.3.9	30(距 L_2) 42(距 O_2)	12	在断层带上，淹井
15	西底板皮带巷	127	-10		巷道		2	2.5	L_8	1976.11.6	0		揭露 L_8灰岩

附表十四

焦作矿务局韩王煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
1	工人村主井井筒面20断层旁	85.09	+43.5		井筒		6.24	22.0	6_8	1959.9.21	2.6 (5.0)	25	接近断层
2	1222开切眼		+44.3		切眼		2.06	5.5	L_8	1979.4.3	0.5	0.85	断层出水
3	西大巷三号上山高落式采煤区	113.3	+9.00	140			8.3	6.0	L_8	1959.4.20	18.2 (注1.10.89)		
4	采一区东一顺槽二号正前	83.52	+44.4		巷道		4.75	6.9	L_8	1959.11.23	11		有断层
5	西二大巷与副巷交点西	122.5	±0	140		15	9.05	12.00	L_8	1960.3.17	18.2		钻孔出水
6	西韩王工人村斜井井筒	84.82	+43.0		井筒		6.07	1.5	L_8	1960.12.30	8	15.6 (25)	在断层附近
7	东大巷一号上山水采区边缘	107.0	+15.5		巷道(上山)		8.08	22.86	L_8	1961.6.26	18.5		
8	工人村斜井井筒	84.82	+43.0		井筒		5.44	14.5	L_8	1962.2.19	8	15.6 (25)	淹井
9	1211面老开采眼	73.95	+55		巷道		1.4	2.5	L_8	1973.2.20	22.9－18 ＝4.9	18.0	120m巷道全淹没

续表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
10	1221 老采巷西一轨道	73.79	+57.0		巷道		2.9	24.7	L_8	1974.9.26	5	30	曾造成停产
11	小井遇万 3 断层后作探巷	67.77	+69.5		巷道	11	1.32	16.8	L_8	1977.8.3	12	21.3	L_8与大煤接触，出水点距断层 12m
12	下山东总回风绞车房	152.881	−31.401		绞车房		8.9	13.0	L_8	1978.3.19	18	24	出水点距断层 18m
13	3132 运输巷	80.886	+48.614		巷道		1.8	6.25	L_8	1979.4.1	8.22	10	
14	2111 回风巷	162.54	−40.6	60		11	10.4	7.57	L_8	1979.7.30	19.34		
15	2111 面中间巷下 18m	174.89	−55.0	30(?)			11.0	14.6	L_8	1979.8.25	19.34		
16	2151 运输巷运 16 点前 60m	195.022	−75.0		巷道	12	11.69	6.07	L_8	1982.11.3	18.5		
17	2151 流水巷拐点向上 15.2m	192.8	−74		巷道		13.8	4.3	L_8	1985.5.22	18.68		
18	−150 轨道老配风巷	157.15	−31.65		巷道	11	8.0	5.3	L_8	1985.5.29	23.56	16.5	出水点距断层 10m

附表十五

焦作矿务局李封煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
1	塔掌斜井找煤大巷	192.5	+35.5		巷道		3.2	2.08	L_9	1970.4.20	5~6		
2	斜井东大巷新送下二十七绞车道鸡窝坑附近	173.6~171.71	+35.4~+37.29		巷道	11	4.47	9.3	L_8	1972.11.21	6.5	9	
3	斜井西大巷二煤王巷上五口里47.1m		+36.7		巷道		5.0	4.0	L_8	1980.4.9	14.0		距$L_9$1.5m
4	斜井二煤西大巷下一西回开切眼60m处		+15.2	54		1	6.7	2.72	L_4	1980.4.17	3.15~4.44	1.0	
5	斜井5214面上风道		+16~+17	55	距切眼5m	1	6.85	5.84	L_2	1980.12.7	10.7	1.0	切眼紧靠断层
6	斜井西部二煤上九大巷副巷口上30~33m		+37.9		巷道		4.3	2.42	L_2	1981.5.2	6.0		
7	斜井东部二煤西大巷上四西5112工作面		+36.0	55			4.4	1.1	L_4或L_2	1981.6.10	10.7	0.6	
8	5222面上风道	162	+64.0				3.28	2.27	L_2	1982.8.21	10~11	6.0	
9	5222面上风道		+57.446				3.9	1.37	L_2	1982.9.4	10.66	5.43	
10	斜井东大巷192工作面下风道60m处		+54.5	?	25		3.6	1.0	L_8	1982.11.17	20.0	15	揭露断层，位于逆断层下盘
11	斜井西部二煤下二二横贯北部		-4.7		巷道		7.4	0.7	L_4	1983.4.4	12.9		

续表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
12	西部二煤下一三横贯	238.47	-3.7		巷道		7.0	0.7	L_2+L_3	1983.11.3	15±		
13	斜井 5222 工作面		+48	?			2.5±	2.5	L_2	1983.12.2	15±		
14	5221 工作面上风道		+24.27	?			6.3	14.67	O_2+L_2	1983.12.5	12.0(L_2)	7~9	
15	5222 工作面		+44.0	?			3.78	3~3.5	L_2	1984.12.3	14.94		
16	5221 上工作面		+21.0	?			4.1	2.9	L_2	1985.2.25	15~17		
17	5221 下工作面		+4.7	?			7.76	1.47	L_2	1985.2.28	15~17		
18	5221 下工作面		+7.5	?			6.88	0.5	L_2	1985.3.24	15~17		
19	5221 上工作面		+25.0	?			5.4	2.4	L_2	1985.5.5	15~17		
20	5221 下(P 柱式)		+14.0		P 柱式		6.9	7.0	L_2	1985.7.27	15~17		采 10m，留煤柱 15m
21	5221 下(P 柱式)		+11.0		P 柱式		7.2	5.5	L_2	1985.8.4	15~17		
22	绞车道正下以西巷道 24 号	197~198.3	-13~-14.13		巷道		9.3	6.0	L_8	1952.10.8	2~5(距断层)	62	

附表十六

焦作矿务局王封煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深 (m)	标高 (m)	工作面长度 (m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角 (°)	水压 (kg/cm^2)	突水量 (m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度 (m)	断层落差 (m)	备注
1	大井 117 下二号四横贯以上 15m		-115		巷道		21	51	L_8	1965.1.8	16~22		
2	123 东十九 1441 面下风道距东十九 87m		-27	?			11.4	23.2	L_8	1971.10.15	22		
3	二煤东轨道下山		-69.2		巷道		11.0	2.0	L_2	1988.11.7	19~22		
4	52034 面下风道停车线附近		-59.13	?			14.2	1.6	L_2	1989.4.14	24		
5	52036 面下风道		-93.19	?			12.0	6.3	L_8	1980.2.15	19~20		
6	52036 面外段		-69 -25	?			9.4 10.0	3.0	L_2	1980.4.20 1980.5.4	19		
7	民有二煤东大巷，距井底 390m		+27		巷道		5.72	59	L_2、O_2	1984.4.5	11~18		淹井 L_2在断层处与 O_2接触
8	民有西大巷西上七号		+36.99		巷道		3.7	2.0	L_2	1988.3.14	27		
9	民有 53024 面切眼下 24m		+58	?			2.6	10.02	L_2	1989.3.9	13		

附表十七

焦作矿务局焦西煤矿底板突水资料一览表

编号	地点	垂深(m)	标高(m)	工作面长度(m)	第一次周期来压距离(m)	煤层倾角(°)	水压(kg/cm^2)	突水量(m^3/min)	突水水源	时间	相对隔水层厚度(m)	断层落差(m)	备注
1	北区西大巷车场拐点里41.6m	278.02	-139		巷道	10	21.0	28.5	L_8	1979.5.5	7.5	0.7	突水处有一条裂缝，底鼓长14.5m
2	4211老回风巷迎头	2166.53	74		巷道		15.0	1.83	L_8	1983.8.22	18-20	6.5	遇正断层突水
3	41轨道向西掘总回风巷196m与203m处	197.62	-49		巷道		12.3	5.78	L_8	1984.1.9	22.0	2.0	
4	北区4221顺槽二横贯前81.7m	213.58	-71		巷道	16	14.88	4.56	L_8	1984.4.19	23.0 26.7		
5	北区4211面老塘	234.46~241.46	-92~-99	150	40±		10~11	2.0	L_8	1985.2.21	20.0	0.55	
6	4221顺槽正前		-68		巷道		6.0	0.7	L_8	1985.3.16	9.0	10	
7	4221三横贯流水巷向上3m		-55.5		巷道		5.0	0.8	L_8	1985.10.15	12.0	10	距F_{15}断层3.0m
8	4221面	240.1	-100.0	30			10.0	3.35	L_8	1986.3.16	19		
9	4231面	252.46	-113	95	17.5	19	11.7	1.52	L_8	1986.7.2	20		
10	42013面		-82~-84	70	23		8.0	0.7	L_8	1988.9.2	20		
11	41071面		-123.5	90	10	12	16.9	1.3	L_8	1988.12.15	22		
12	41疏水巷		-135.5		巷道		17.0	1.66	L_8	1989.7.15	0		揭露L_8
13	41011面	210.9	-63	86	20	14	8.0	1.3	L_8	1989.9.3	26	0.6	
14	42012下工作面	242.46	-100	70		10	12.0	2.5	L_8	1990.4.28	20	0.4	
15	42023新疏水巷	211.9	-70.9		巷道	13	9.0	1.2	L_8	1990.10.6	26	10	距F_{14}断层0.6m

第七章　煤矿热害和煤田地下热水

第一节　煤矿区的矿山热害和地下热水概述

一、煤矿床矿山热害

矿山热害是由于井下空气湿度过高、温度过大而对矿井的正常开采所造成的危害。这些危害的表现形式有以下几个方面。

(1) 湿热的工作环境引起劳动者身体不适，进而发生某些疾病。在湿热的井下条件下常见的疾病是中暑、呕吐，各种皮肤病及感冒等，在淮南九龙岗矿（开采深度 830m，工作面气温 28℃上下），还发现工人中高血压及心悸病患者较多。

(2) 湿热的工作环境易使人疲倦，精神不集中，导致采煤工作面的事故率增多。据日本北海道七个矿井的调查资料，气温在 30℃以上的工作面事故率比气温在 30℃以下的高 1.5～2.3 倍。

(3) 高温环境将影响劳动者的情绪和效率，导致生产率下降。据南非统计资料，空气温度超过标准 1℃，矿工的劳动效率降低 7%～10%。西德有关方面的研究认为，在目前的开采技术条件下，从气候条件角度上看，当岩温在 50℃或超过 50℃时工作面原煤日产量不能超过 3000t；当岩温在 40～50℃时，若工作面供给足够风量，并采取必要的空调降温措施，工作面日产原煤量可达 4500t，当岩温在 30℃或 30℃以下时，工作面日产原煤量将不受气候条件的限制。苏联的类似统计表明，当工作面温度超过 26～30℃时，劳动效率系数为 0.8，高于 30℃时，劳动效率系数为 0.7。

我国煤矿床开采的历史悠久，对矿山地热也积累了较多的资料。煤田地质方面，60 年代就在某些大型矿区勘探时注意了地温观测工作。近些年来，由于矿井开拓深度的增加，开采强度增大，煤矿矿井的热害问题日益突出，成为一项迫切需要加强的工作。近些年来在平顶山、坊子、合山、新郑等一些矿区（井）发生了热害问题，影响到矿床的正常开发。为适应煤炭工业发展对地热工作的要求，1978 年煤炭工业部地质局制定了《煤炭资源地质勘探地温测量若干规定》，并同年下发试行。近几年来，煤田地质勘探中已普遍地开展了地热的测量与研究工作。与此同时，生产矿井的地热工作也得到了加强。

矿山地热问题虽然经常在开采深部矿床时造成危害，但在许多情况下，矿山地热工作又是地热资源研究的一个重要途径和阵地。在许多存在地热危害的矿区，在矿床勘探过程中不仅需要查明勘探区内的地热条件，为矿井设计中采取防热降温措施提供依据，而且必要时尚需要对地热的利用前景和综合利用作出初步评价。

二、矿山热害的热源

矿山热害的热源归纳起来可以分为两个方面。

1．地热场的散热

主要有几种方式：

(1) 矿井岩壁的散热。矿井中空气的温度和岩壁的温差愈大，岩壁向空气传送的热量也愈大。矿井愈深，岩壁的原始温度愈高，热交换现象也愈明显。矿井岩壁与空气的热交换强度随着岩壁暴露时间的增长而逐渐减弱，不久即可在井巷岩壁附近形成一个冷却层，冷却层达到一定厚度后，便极大地阻止了围岩向矿井中空气的热传送，最终可能达到一个动态平衡，从岩体内部通过岩壁间井巷中传递的热量随着入风温度等条件的变化而呈现动态变化。在岩壁与空气的热交换过程中，由于矿井入风的温度在一年或多年期间内作周期性变化，而会引起空气与岩壁之间热交换强度，甚至热交换方向发生周期性的变化，岩壁将对井下气温起调节作用，在围岩温度不高于夏季气温的情况下，这种热交换使矿井中气温在夏季降低，冬季增高。

(2) 采落煤、岩散热。工作面新采落的煤和岩石，以及采空区冒落的顶板，在很短的时间内其与空气的接触散热面积急剧增加，其间热传递迅速发生，使工作面气温大幅度上升。

(3) 进入矿井的地下水的散热作用。地下水与空气之间的热交换过程比较复杂，不仅存在着热量的传递，同时还存在着由凝结或气化作用形成的湿交换（水分交换），从而引起空气的温度、含湿量和焓的变化。

2．人为开采活动所产生的热源

主要包括机电设备生热；煤、含碳及含硫围岩和支护材料的氧化热及其它化学反应热；放射性物质生热；人体散热；矿井通风过程中进风含热。空气进入井筒下行时因大气压力增高受压缩而增温等因素。这些因素主要由开采技术条件、开采设备和矿井开拓方案所决定的。在有热害的井田，结合矿井开拓方案在设计中考虑相应的防热措施，而在矿床勘探中，这些因素一般不是地热工作的研究内容。

尽管矿井增温的各种热源所占的比例因矿井开拓深度、机械化程度、开采方法、开采强度、巷道长度、矿井充水水源及涌水量，进风温度等不同而变化，但由地热场的散热所引起的矿井空气增温往往构成矿井热害的最主要热源，地热场的特征是煤田地质勘探中地热工作的主要研究内容。随着矿井开采深度的增加，由地热场引起的空气增温往往也更为重要，为矿山热害的最重要热源。

三、煤田地下热水

地下热水是矿井热害中常见的重要热源，也是矿山热害中最活跃的因素。地下热水不仅使矿井中气温增高，而且同时使矿井中湿度增加，从而矿井空气中的汗热增加（即空气的焓值增加）。相对湿度较高的热空气所造成的危害显然比湿度较低的热空气所造成的危害大，它不仅使井下劳动条件更为恶化，而且也使井下各类设备的寿命缩短，使降温措施更为困难。有关统计资料表明，在相对湿度超过 80%，气温在 30℃以上时，人体蒸发散热便很困难，劳动者在劳动中所产生的热量散发不出去，便会感到闷热难受、乏力，同时对某些疾病的发生提供了有利的条件。平顶山八矿东一石门（深 510m）工作面出水，水温 36℃，水量仅 $12m^3/h$ 左右，竟使工作面气温由 30℃左右上升到 33～34℃，使井下人员多次发生中暑、呕吐，凡是在那里工作的人员普遍患有传染性湿疹。据该石门热源考

察结果，热水散热量达 110000kcal/h，占全部热源的 56%。广西合山里兰矿，井下有 28～35℃的热水涌出，巷道内气温在 22～29.6℃之间，出水点附近达 33℃，1976 年统计，井下工人有 415 人患各种皮肤病，也曾发生过多起中暑昏倒病例。据该矿 8224 工作面热源考察资料（该工作面标高 －170m，深约 300m，地温为 30.5℃）热水散热量为 91200kcal/h，占全部热源的 28%。

地下热水的形成是地下水在循环运动过程中吸收地热的结果。要达到一定的温度，地下水必须下渗至一定的深度。当然，由于各个地区的地热状况是不一样的，达到相同温度的地下水，其下渗的深度是不相同的，该深度一般可以用下式表示：

$$H = H_0 + (T - T_0)h_0 \qquad (7-1)$$

式中 H_0——当地恒温带深度（m）；

T_0——当地恒温带地温；

T——地下热水水温；

h_0——当地地热增温率（m/℃）。

从式（7－1）可知，地下热水的形成受地下水的循环深度及当地的地热增温率所控制。但是，地下水能下渗到这种深度也并不一定形成地下热水，还必须在该深度以下停留足够长的时间或有足够长的渗透途径，以利于它和周围介质充分地进行热交换作用。地下水和周围界质之间的热交换，不仅使地下水温升高，而且同时也使介质的温度降低，一般情况下，地下水水温将介于原始水温和原始岩温之间。故，交替强烈而且大面积赋存的地下水要形成地下热水一般比较困难，要求有更大的赋存和循环深度，要求该区有较大的热流值 q（mW/m^2）。热流值 q 即为某一深度（或地表）处单位面积上、单位时间内，以热传导方式由地球深部通过该面积向上传递的热量。在稳定地热场中，热流值不随时间而变化，各个深度上的数值相等，最后由地面散发于大气中去。

$$q = -\lambda\left(\frac{d\theta}{d\varepsilon}\right) \qquad (7-2)$$

式中 $\frac{d\theta}{d\varepsilon}$——地温弹梯度（℃/100m）；

λ——岩石热导率（mcal/cm·s·℃），其物理意义为沿热传导方向上的单位厚度岩石，其顶底面温差为 1℃时在单位时间内所通过的热流量。热导率的倒数谓之热阻。

从以上讨论可知，在岩浆活动、火山活动频繁的地区，在深大断裂地带，特别是在那些新构造断裂发育的地段，对形成地下热水是较为有利的；对于基底抬高，而基底岩石的热导率也较高的地段，也有利于地下热水的形成。

在矿区内或井田内，煤系一般不会被深大断裂所切割，但是在矿区或井田边界以外以及煤系地层的沉积基底则不然。故，在煤矿区地下热水的形成常常和煤系地层的沉积基底的性质有较密切的关系，地下热水主要来自于煤层的底部或井田边介断裂。对那些煤层赋存很深，深部含水层迳流又比较迟缓的矿区也可能形成范围较广而水量较大的低温热水。在年平均气温较高的地区，地下水的补给水源（如降雨、地表水入渗等）的水温亦较高，这种初始水温较高的地下水也是形成较大范围的低温热水的有利因素。

第二节　煤矿区的地温场及其影响因素

一、煤矿区的地温场

所谓地温场即地温的空间分布。一般来说，岩层中的地温分布既可能是空间坐标的函数，又可能同时是时间的函数，即 $T=f(x、y、z、t)$，式中 $x、y、z$ 为地温场中任意点的坐标，t 为时间。在研究的时间段内，如果地温场内任意点的温度是随时间而变化的，称为不稳定地温场；反之，为稳定地温场。在稳定地温场中，$T=f(x、y、z)$，$\frac{\partial T}{\partial t}=0$。

煤矿区地温场是地热场的一种表现形式，属于地壳的浅部范畴，它研究的范围是矿区及与其在地热上有密切关系的邻近地段，研究的对象一般为覆盖层、煤系地层及其沉积基底。在矿区的垂直剖面上，按照地温的变化，可以从上而下分为变温带、恒温带及增温带等三个地带。地面附近地温的分布受太阳辐射热所控制，有着日、月、年、多年性变化，呈现出相应的周期，属不稳定地温场。太阳辐射热对地温场的影响随着深度的增加而衰减，达一定深度后其影响趋于消失，而该深度上地温则基本保持恒定。地温常年基本保持恒定的地带称为恒温带。恒温带以上，谓变温带或外热带；恒温带以下，地温的变化主要受地球的内热控制，随深度的增加而增温，称增温带或内热带。恒温带实质上是内热和外热影响的热平衡面，故恒温层又称为中性层。年恒温带的深度及其温度常常影响着地热增温带的顶界和起始温度，也是矿区地热场的重要特征参数。一般情况下，恒温带的深度为20～30m 左右，其温度略高于当地多年平均气温。接近于当地的年地面平均温度。对于矿山地热研究而言，变温带通常不是主要的研究对象。矿山地热所研究的温度场通常是在增温带范畴内，对变温带的研究往往是为研究增温带服务的。

为了研究方便，我们引进矿山地热单元这个概念。所谓矿山地热单元即具有基本相同的含煤建造、沉积盖层和煤系基底的同一区段。一个矿山地热单元的边界，常常与井田边界或矿区边界吻合，它们可能是断层，也可能是煤系沉积边界，或者是含煤构造边界。根据边界性质，一个地热单元的边界可区分为导热边界、隔热边界或相对隔热边界，这可以由边界外侧及内侧地层导热性的强弱差异而划分。

二、影响煤矿区地温场的各种因素

煤矿床是沉积矿床，因之矿山地热单元在结构上通常是由煤系、盖层及煤系沉积基底组成的层状地热体，而每一个地热结构层一般又都是次一级的，非均质的层状结构体。一个矿山地热单元的地温场的特征是在矿区长期地质历史发展中形成的，受矿区所处大地构造位置及地壳的稳定程度，地质历史时期构造作用特征，各种沉积和剥蚀作用发育状况等控制，主要取决于矿山地热单元的三个基本地热结构层各自的特征及其组合关系，与区域地质一水文地质条件关系十分密切。

（一）矿区岩层的热力学性质及其组合关系

矿区岩层的热力学性质主要包括比热、热容、热导率、热扩散率等。比热 C 是 1g 岩石

增温 1℃所需的热量(cal/g·℃);岩石的比热 C 与其密度 ρ 的乘积称热容(cal/cm^3·℃);热导率 λ 为在热传导方向上单位厚度的岩石，当其两侧温差为 1℃时在单位时间内所通过的热流量(mcal/cm·s·℃) 热扩散率 $K=\lambda C\cdot\rho(\mathrm{cm^2/s})$,它反映岩石的热惯性特征,表示岩石的加热或冷却时各部分温度趋于一致的能力，K 值较大，温度传布也较快。在矿区地温场中使用得最多的岩石热力学指标是热导率，而热扩散率主要用之于非稳定的地温场研究。

岩层的性质不同，热导率不相同；在同类岩层中，因为孔隙度及含水量等因素的变化，热导率的变化也很大（图 7-1)。致密坚硬的岩石热导率通常较高，而不含水的疏松或松散的岩石（土）其热导率较低。煤的致密度较低，通常不含水，导电，导热的性能很低，常是矿区沉积岩层中热导率最低者；页岩、泥岩次之，其热导率相对较稳定；砂岩和砂砾岩的热导率则随着岩石成份、胶结程度及裂隙发育状况、含水性的变化有较大的变化。研究砂岩、砂砾岩的热力学性质时，胶结程度常占主导地位，胶结物成分及胶结类型也有明显的影响，当岩石致密坚硬时，因为砂岩、砂砾岩的矿物组成和化学成分相对比较稳定，其热力学性质变化也较小。石灰岩、白云岩等可溶性岩类其导热性能通常与其岩溶发育程度和富水性关系非常密切。以豫西各矿区为例，我国北方 CP 煤田的一些主要岩层的热物理参数见表 7-1～表 7-7。

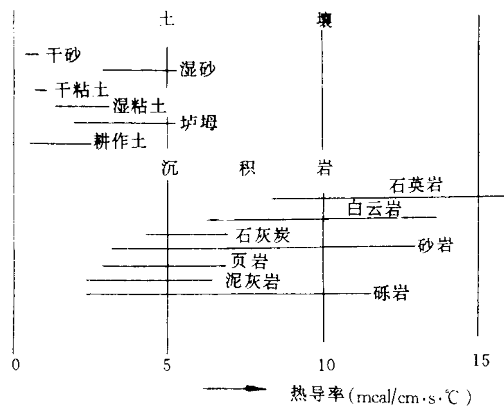


图 7-1 各类岩石的热导率

[据 Kappelmeyer 及 Haenel，1974]

在矿区恒温带以下，地温场受地热状况所控制。在地层水平或倾角较小，延展范围很广的条件下，区内热流值相对均一。对相对稳定的地温场而言，通过任意一个岩层的热流值为：

$$q_i = -\lambda_i\left(\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}z}\right)_i \tag{7-3}$$

式中 $\left(\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}z}\right)_i$ ——为第 i 个岩层中的地温梯度（℃/100m)；

λ_i ——为第 i 个岩层的岩石热导率（mcal/cm·s·℃)。

表7-1 寒武系热导率统计表(mcal/cm·s·℃)

统		组		岩层	
名称	热导率	名称	热导率	岩石名称	热导率
上统	12.5	凤山组	13.0619	白云质灰岩	8.9743~14.7261 12.5772（5）
		长山组	10.9079	白云质灰岩	9.0547~14.5304 10.9079（3）
		固山组	12.55	泥质条带白云质灰岩	8.2353~9.4163 8.8258（2）
				鲕状白云质灰岩	10.7179~14.3497 12.5467（7）
中统	5.85	张夏组	5.795	鲕状灰质白云岩	6.5522~8.4568 7.3995（6）
				鲕状灰岩	4.072~6.906 5.7624（9）
				细砂岩	5.094（1）
		徐庄组	5.9618	泥质条带灰岩	4.982~6.777 5.3618（9）
				鲕状灰岩	4.874~5.480 5.2254（8）
				灰岩	4.940
				细砂岩	7.203~7.611 7.407（2）
				泥岩、砂质泥岩	3.321~7.062 5.268（7）
		毛庄组			
下统	7.15	馒头组	6.232	鲕状灰岩	6.521（1）
				白云岩	5.942
		辛集组	7.316	泥质条带灰岩	5.594~7.052 6.476（5）
				灰岩	6.848~7.487 7.168（2）
				白云质灰岩	4.277~7.777 6.634（7）
				灰质白云岩	7.196~9.521 8.092（6）
				白云岩	5.091~6.053 5.664（3）
				碎屑状白云岩	4.357~9.225 7.2613（8）
				砂岩	6.469~7.806 6.835（5）

表中$\frac{\text{分子}}{\text{分母}}=\frac{\text{最小值}\sim\text{最大值}}{\text{平均值（样品数）}}$。

表 7-2 石炭系中、上统岩石热导率综合表

	平顶山煤田	禹县煤田	新密煤田新郑矿区	荥巩煤田	综　合
泥岩、砂泥岩、粉砂岩	4.240~6.288	3.3309~7.3851	4.2154~6.1845	3.2676~7.1390	3.2676~7.3851
	4.964 (7)	5.3977 (8)	5.2836 (4)	5.2908 (9)	5.230 (28)
细、中粒砂岩	4.218~8.650	6.455~8.196	4.8436~115429	6.6843~8.8683	4.218~11.5429
	6.175 (6)	7.280 (4)	7.744 (6)	7.776 (2)	7.12 (18)
其他灰岩	4.438~6.431	4.8748~5.2307	5.8083~7.0928	6.5268~6.9883	4.438~7.0928
	5.309 (6)	4.993 (3)	6.348 (4)	6.758 (2)	5.716 (15)
顶层泥灰岩	4.044~5.832		4.9757		4.044~5.832
	4.938 (2)				4.951 (13)
L7-8灰岩	5.447~11.562	5.4164~5.6850	6.4471~6.8633	5.4124~7.4177	5.4124~11.562
	6.990 (5)	5.551 (2)	6.5833 (4)	6.415 (2)	6.555 (13)
L1-2灰岩	5.111~5.161		6.1609~108751	5.3957~7.5474	5.111~10.8751
	5.130 (2)		7.714 (7)	6.5396 (3)	6.990 (12)
铝土质泥岩铝土岩	3.379~4.414		5.588~8.871	5.3667~8.5943	3.379~8.871
	3.915 (3)		6.616 (4)	6.981 (2)	5.797 (9)

表 7-3 山西组岩石热导率统计表

	平顶山煤田	禹县煤田	新郑矿区	综　合
其他泥岩砂泥岩	3.935~5.1910	3.2925~3.9628	5.0140~8.7914	3.2925~8.7914
	4.689 (3)	3.628 (2)	6.534 (3)	5.116 (8)
小紫泥岩			5.6790~8.7057	5.6790~8.7057
			6.762 (4) 6.762 (4)	
香炭砂岩		6.0784~6.7226	4.6930~11.3761	4.6930~11.3761
		6.493 (3)	7.903 (7)	7.480 (10)
大占砂岩	5.025~7.996	5.7106~7.7437	6.9766~10.6935	5.025~10.694
	6.766 (3)	6.576 (3)	8.223 (3)	7.188 (9)
二$_1$煤底板	3.034~6.2304	4.3675~5.1121	4.6579~4.6929	3.034~6.2304
	4.8651 (3)	4.730 (3)	4.6754 (2)	4.767 (8)

表7-4 下石盒子组岩石热导率统计表

	平顶山煤田	登封煤田	新密煤田新郑矿区	综　合
粉砂岩、细砂岩、中粒砂岩	5.023~7.146	6.5009~9.5093	6.6495~9.0699	5.023~9.5093
	5.945 (5)	7.9607 (6)	7.786 (9)	7.387 (20)
泥岩、砂质泥岩	4.646~6.768	5.0585~6.0469	4.6437~5.8582	4.6437~6.768
	5.370 (4)	5.768 (5)	5.251 (2)	5.529 (11)

表 7－5 岩石比热统计表（cal/g·℃）

	奥陶系	石炭系	二叠系	综　合
泥　岩 砂质泥岩		0.1626～0.2458	0.2075～0.242	0.1626～0.2458
		0.2161（19）	0.2230（19）	0.2196（38）
砂　岩		0.2009～0.2658	0.1971～0.2466	0.1971～0.2658
		0.2193（9）	0.2129（13）	0.2153（22）
灰　岩	0.2069～0.2299	0.1994～0.2411		0.1994～0.2411
	0.2180（3）	0.2146（10）		0.2154（13）

表 7－6 岩石密度统计表（g/cm^2）

	石炭系	二叠系	综　合
泥岩、砂质 泥岩、粉砂岩	2.5550～2.790	2.514～3.010	2.514～3.010
	2.683（13）	2.660（24）	2.668（37）
细砂岩 中粒砂岩	2.599～2.752	2.575～2.788	2.575～2.788
	2.666（7）	2.643（16）	2.650（23）
灰　岩	2.6089～2.735		2.6089～2.735
	2.690（12）		2.690（12）

表 7－7 热扩散率统计表（$10^{-3}cm^2/s$）

	石炭系	二叠系	综　合
泥岩、砂质泥 岩、粉砂岩	5.5922～156770	5.020～12.719	5.020～15.677
	9.235（13）	8.287（17）	8.698（30）
细砂岩 中粒砂岩	8.5502～15.2877	8.243～14.954	8.243～15.2877
	11.513（8）	11.040（18）	11.186（26）
灰　岩	6.8802～10.5649		6.8802～10.5649
	9.058（9）		9.058（9）

在所研究的岩层剖面中没有附加热源的情况下，根据热流连续性原理，通过此剖面的总热流值 q 与该剖面上各个岩层的热流值 q_i 相等。即　　$q = q_i$

$$\lambda\left(\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}z}\right) = \lambda_i\left(\frac{d\theta}{dz}\right)_i \qquad \lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i h_i}{\sum_{i=1}^{n}h_i} \tag{7-4}$$

式中　h_i ——为第 i 个岩层的厚度；

　　　n —— 为剖面上岩层的总数。

上式说明在岩层倾角很缓的矿区的同一地质剖面上，某一岩层热导率愈高则其地温梯度也愈小；反之，亦然。某一岩层的热导率低，则该层的地温梯度大，热量通过该层向上传递也困难。无论是在煤系中，还是在煤系的基底或上覆地层中，低热导率的岩层存在，总会造成该区的热流值偏低；同时，低热导率的岩层以下，其地温常较其上部偏高。从式

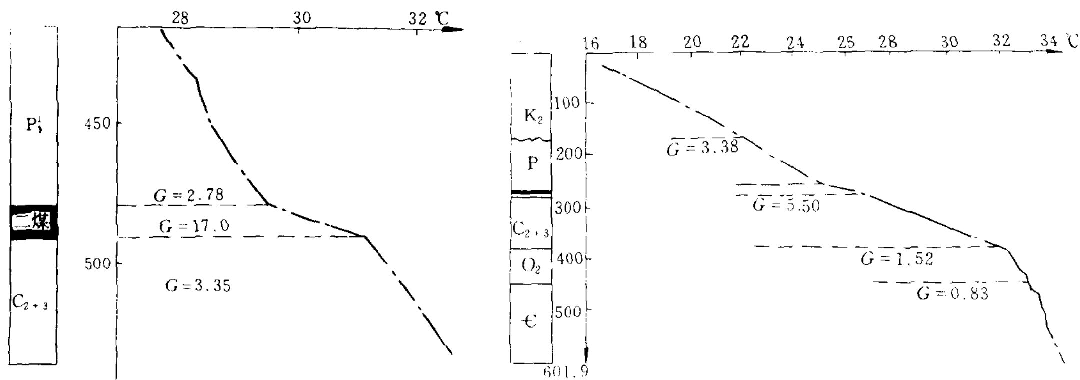
(7－4) 也可以看出，岩层的厚度越大，其对矿区地热场的影响作用也大。

在一个矿区地热单元中，沉积盖层、煤系、煤系沉积基底通常具有不同的热力学性质，它们在各自的厚度、岩性及其组合等方面都具有各自的特点，使它们在矿区地热场中居于不同的地位。

煤系是矿区地热场研究的重点对象。一般来说，煤系的生成时代愈早，其成岩程度也愈高，地层的导热性能也较好。煤系中，煤层的导热性能很弱，故煤系的含煤性常常是决定矿区地热场特征的一个极重要的因素。煤系中含煤的层数、厚度及其分布状况不同使得其地温场具有不同的表现。煤系的含煤性好、煤层厚，则煤系总的导热能力差，地温梯度一般也较大，特别是那些煤层相对比较集中的层段，地温梯度更大。煤系中含煤性及煤层的分布特征是其地温梯度的变化和分布的重要原因。以新汶羊村一翟镇勘探区 350 号孔为例，该孔孔深 735.39m，全孔平均地温梯度仅 2.46℃/100m，但是煤系，特别是主要煤层地段地温梯度明显偏高，最高可达 6.2℃/100m（见表 7－8），地温梯度的大小与煤层的厚度及其顶底板含水性有关；山东东滩井田测温结果，煤系地温梯度接近 3℃/100m，但煤层集中地段地温梯度可达 6～7℃/100m；新郑 1833 号孔和 911 号孔测温曲线表明煤层段的地温梯度要偏高得多（图 7－2）。山东济宁二号井、新汶张庄、河南新郑及平顶山等

表 7－8　350 号孔中主要煤层地温及其梯度

煤层	项目	数值	煤层	项目	数值
煤$_2$	温度	22.47～23.00℃之间	煤$_{8-1}$ 煤$_{8-2}$ 煤$_{8-3}$	温度	25.86～26.16℃ 26.16～26.48℃之间
	梯度	5.3		梯度	3.2
煤$_4$	温度	23.48～24.10℃之间	煤$_{11}$	温度	26.90～27.34℃之间
	梯度	6.2		梯度	4.4
煤$_6$	温度	24.82～25.09℃之间	煤$_{13}$	温度	28.45～28.80℃之间
	梯度	2.7		梯度	3.5
煤$_7$	温度	25.09～25.40℃之间	煤$_{15}$ 煤$_{16}$	温度	28.80～29.32℃之间
	梯度	3.1		梯度	5.2



新郑 1833 孔测温曲线　　　　新郑 911 孔测温曲线

图 7－2　新郑 1833 孔测温曲线及新郑 911 孔测温曲线

许多勘探区（矿区）均发现煤系的等温线与主要煤层的底板等高线基本平行，说明煤层对地温场有明显的关系（图 7-3、图 7-4）。

煤层的变质程度往往和煤田的地温场关系很密切，温度是煤质变化的最敏感的因素。在以褐煤为主要煤种的矿区，很少发现有井下热害者，热害多出现在煤变质程度偏高的矿区（井）。当然，煤的变质程度高只是说明它曾经经历过较高的温度作用，并不意味着煤

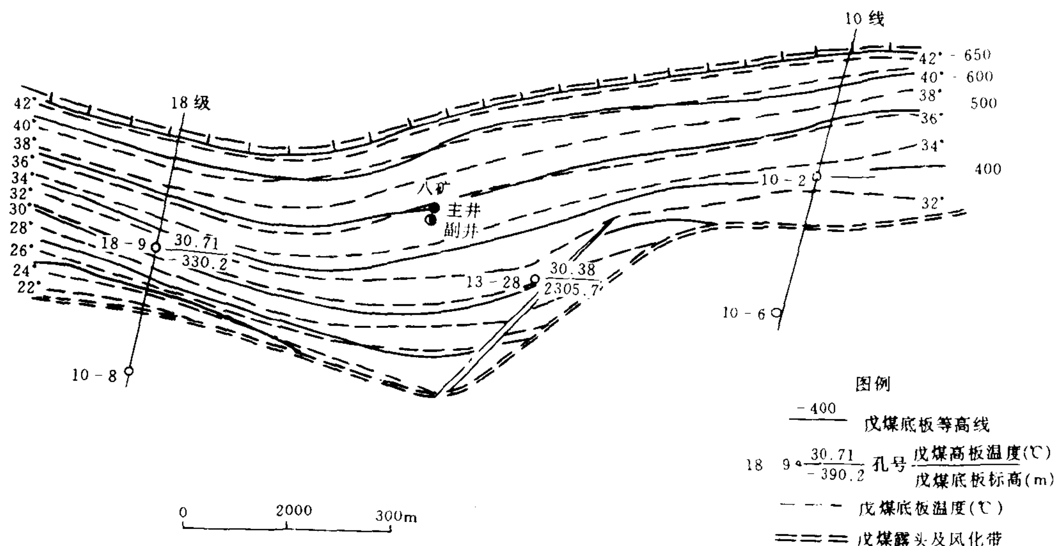


图7-3　平八矿戊煤底板等温线图

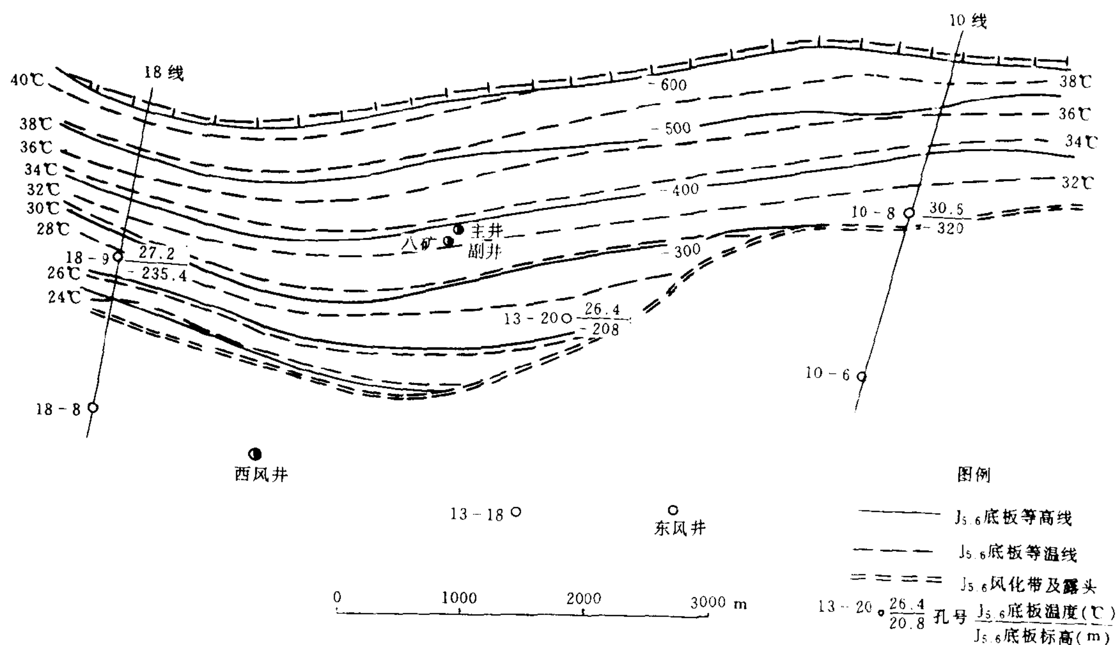


图7-4　平八矿中段丁煤底板等温线图

层现在的温度，但是煤的变质程度低则意味着它未曾经历过较高温度的作用。

由于煤系的沉积环境、岩性及含水性通常与非煤系不同，常表现出不同的地温梯度。以山东济宁二井田为例。煤系上覆有第四系和侏罗系，沉积基底是奥陶系灰岩，该井田地温梯度＜3℃/100m，井田内全孔平均地温梯度 2.2℃/100m，在非煤系中，岩性相对较均一，且含水层段所占厚度较大，其地温梯度一般在 1.6℃/100m 左右，在煤系中，岩性变化频繁，煤层及其它导热性差的岩层较多，其地温梯度一般在 2.7℃/100m 左右，各测温钻孔的煤系及非煤系地温梯度如表 7－9。

表 7－9 济宁二井田煤系及非煤系地温梯度状况表

钻孔号	地温梯度（℃/100m）		钻孔号	地温梯度（℃/100m）	
	非煤系	煤 系		非煤系	煤 系
5－1	2.2	2.9	13－10	1.9	2.6
6－4	1.65	2.8	15－1	1.4	2.45
7－8	1.75	2.6	15－6	1.5	2.7
9－13	1.65	1.8	15－8	1.6	3.5
9－3	1.8	3.4	15－16	1.8	2.2
9－5	2.2	3.1	15－12	1.7	3.2
9－6	1.5	3.36	15－18	2.2	3.5
10－8	1.8	3.1	17－6	1.9	3.1
10－11	1.75	3.0	19－1	1.5	2.7
11－4	1.4	3.15	19－3	1.75	2.7
11－7	1.5	3.05	19－6	1.5	2.5
11－9	1.8	3.0	21－1	1.9	2.5
13－5	1.6	3.15	123	1.55	2.45
13－17	1.7	3.4	15－14	1.6	2.4

煤系基底岩层的热力学性质控制着矿区地热场的热量来源。当基底为结晶岩类，导热性能较好且断裂发育，或者存在近期的岩浆活动时，深部地热能够较容易地传递上来，热量的来源比较充沛。但是，当煤系的基底岩层为碎屑岩类时，导热性较差，矿区地热场的热量补给条件通常也较差。侏罗纪、三叠纪煤田的沉积基底多为碎屑岩类，特别是侏罗系的基底碎屑岩厚度一般较大，导热性更差。北方地区的石炭二叠纪煤系及南方的二叠纪煤系底部常有很厚的石灰岩层，煤系的地热状况常受到灰岩的富水状况及灰岩与煤系之间碎屑岩厚度的控制。第三纪煤田的沉积基底可以为各种前第三纪地层，当其为碎屑岩类时导热性差；当其为变质岩、火成岩等结晶岩时，其导热性较好。我国许多地区的第三纪煤田多为断陷盆地沉积类型，煤系的导热性差但基底的导热性好，使煤系的地温梯度较大。

煤系的沉积盖层，特别是松散覆盖层，其导热性一般较差。在松散沉积层很厚的情况下，矿区地热场的储热能力较好。在煤系的基底导热性良好时，则矿区的地温偏高。

（二）矿区的构造特征

1. 矿区所处的大地构造位置及煤系基底的起伏状况

矿区的地温场与其所处的大地构造位置及地壳稳定程度关系密切。我国北方地区，包括华北、华东及西北的许多石炭二叠系煤田在大地构造上属于相对稳定的地台区，矿区的地温场温度较低，地温梯度多在 2～3℃/100m。华南地区的二叠系煤田，在地质历史过程中较华北石炭二叠系煤田的构造活动性大，特别是在燕山运动时期形成了较强烈的褶皱及

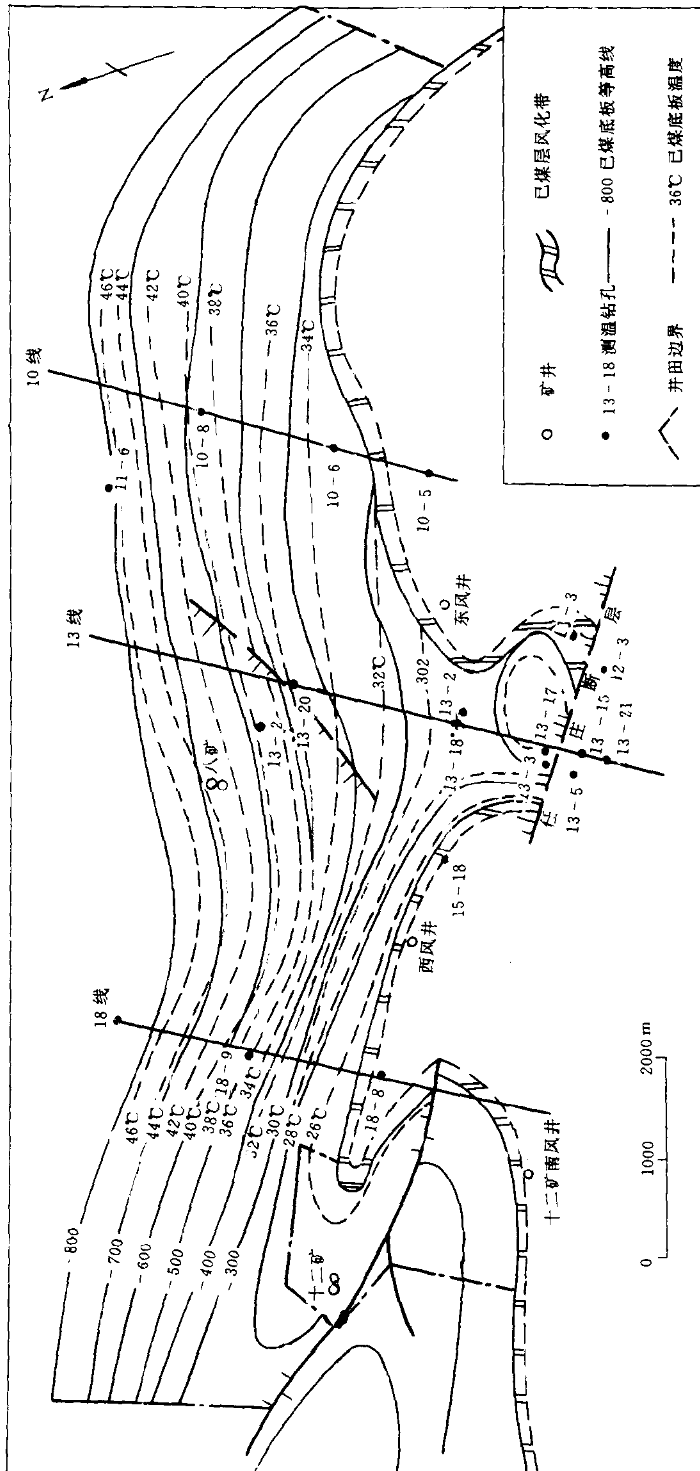


图 7－5 平八矿己煤底板等温线图

断裂活动，并随之产生大量的花岗岩侵入，地热热源比较充沛。东北地区以侏罗纪煤田为主，部分第三纪煤田，在大兴安岭以东的许多侏罗纪及第三纪煤田属断陷盆地沉积，在这些断陷盆地中，基底具较好的导热性，煤系地温及地温梯度值一般较高。其中，抚顺第三纪断陷含煤盆地的地温梯度达 4.57℃/100m；辽源矿区侏罗系含煤断陷盆地地温梯度 3.42℃/100m；双鸭山地温梯度为 3.57℃/100m。

处于不同的大地构造单元的矿区，其地温场的特征不同，而同一大地构造单元内部的地温场的特征常常受煤系基底起伏状况控制。基底隆起区通常地温较高，梯度也大（图7-5和图7-6），基底坳陷区则地温低、梯度小。基底的起伏明显地影响地温场的变化，

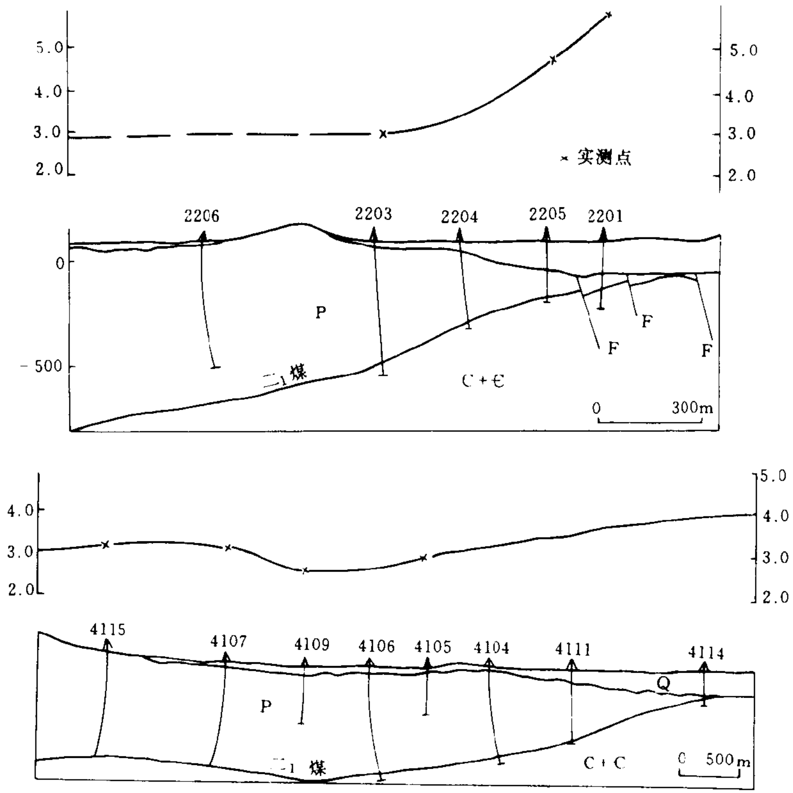


图7-6 平[illegible]矿22线（上）、41线（下）地温梯度剖面

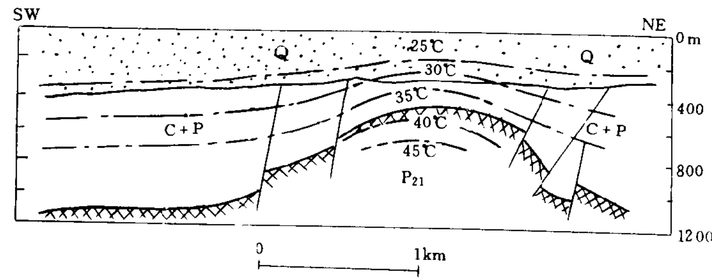


图7-7 淮南潘集背斜地温剖面示意图

浅部地温正异常往往预示着基底可能隆起；反之，亦然。据等温线图可描绘出基底的起伏状况。

在华北平原 300m 深的地温图上，可以看出，除山麓地区以外，平原区内 300m 深处的温度一般在 20～25℃之间，平原北段，相对高温区与相对低温区呈北北东向的狭长带状相间排列，明显地受基底的坳陷和隆起状况所控制。

2. 矿区的构造形态

矿区的褶皱及断裂的发育程度、分布状况常是控制矿区地温场的重要因素。

一般来说，矿区地热单元为层状非均质体，各种岩层的导热性能可能出入甚大。在垂直岩层层面的方向上，热传导性能较差，地温梯度较大；而沿着某些导热性能较好的岩层的展布方向上导热性能好，地温梯度小。在地形比较平坦的水平岩层地区，地下热量向上的传递一般只能垂直层面进行，在这些矿区，地热状况在同一平面上分布比较均匀，在倾斜岩层地区，由于地热向外传递时，导热性能好的岩层的热阻小，沿着这些岩层的倾斜方向向上传递的热量大，在这些岩层的露头或陷伏露头部位热流值也较大，如果其上覆有热导率很低的岩层则易于形成地温高于周围岩层的状况。也由于以上原因，在褶皱地区，地热易于向背斜轴部集中，从而形成其对应部位地温场的温度偏高的状态在向斜部位则地温偏低（图 7-8)。

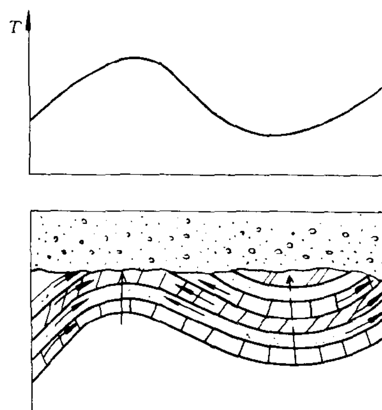


图 7-8　由于岩层顺层导热能力往往大于垂直层面的导热能力导致热量向背斜处集中

矿区的地温场同样受断裂活动的影响，煤系的沉积基底中的深大断裂，特别是那些在煤系沉积以后仍继续活动的断裂，对矿区地温场常有着重大的影响郯庐断裂是一条纵贯我国东部地区的活动性深大断裂，在该断裂带上分布着一系列中、新生代地堑式断裂陷含煤盆地，此尖盆地常是地热贮积的场所，断裂带地段的鸡西、辽源、抚顺、坊子、沂南、临沂、沭阳等断陷盆地中地温均较高，同时在此断裂带沿线还出现许多温泉，如辽宁熊岳、汤岡子，山东临沂汤头、安在巢岳泮汤、庐江东西汤池等。

断裂带常成为矿区或井田的边界，也往往是地热单元的边界。按照断裂两侧岩层的热力学性质的差异状况以及断裂本身的导热性能强弱，断裂带可以形成阻热边界或导热边界(图 7-9)。断层除了构成地热边界以外，也常形成传递地热的通道。其中，对地温场影响较大的是那些导水的断裂，地下水在断裂带的积极活动经常在地热场的形成中有重要作用。断层对矿区地热场的影响随着断裂的性质、规模、切割的岩层的岩性、断裂的发育历史及其活动性的不同而有不同的反映。

3. 新构造运动特征也是影响矿区地温场的重要因素

在新构造活动区，地温场经常出现正异常。新构造断裂带常常是地球内部的热量向外扩散的通道，很多温泉的出现都是和新构造断裂有关的。那些切割很深的、具明显继承性的新构造断裂，往往因为断裂带胶结较差，多次活动所造成的裂隙带宽而成为地下水富集和深循环的场所，是地热能开发的良好地段。祁连山区的木里一江仑一热水含煤山间盆地

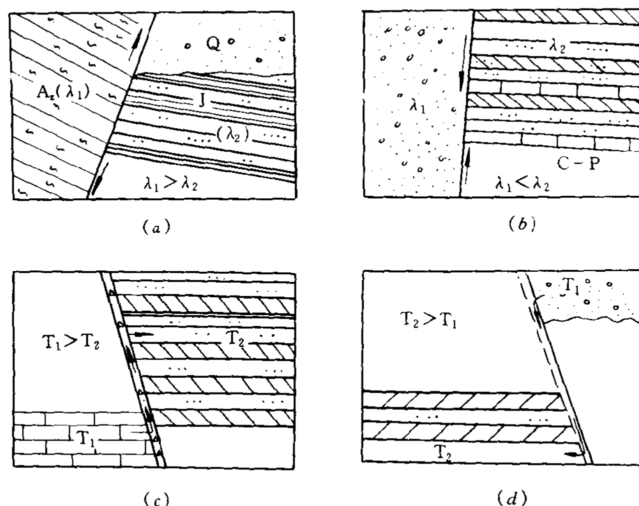


图 7－9　地热单元的边界示意图

a－导热边界 （$\lambda_1>\lambda_2$）；*b*－阻热边界 （$\lambda_1<\lambda_2$）

c－导水的增温断层（$T_1>T_2$）；*d*－导水的减温断层（$T_1<T_2$）

中，由于地下水沿两侧新构造断裂作深循环的结果，形成了夺龙滩、热水等温泉。

新构造运动的方向常常影响着新生界地层的堆积厚度。在新构造上升区，常形成剥蚀地形，使该区的热流值偏大，而处于新构造下降运动的地区，常形成很厚的新地层覆盖，由于新地层的导热性能差，阻隔着该区的地热向外扩散，形成热流值偏低，同时使得新生界地层与基岩分界部位常形成地温跳跃变化。

4．煤系与基底的接触关系

煤系与基底岩层的接触关系也是影响矿区地温场的一个重要因素。当二者呈整合或平行不整合关系时，它们的地温分布常具有大体相同的变化规律，煤系的地温场比较均一；当二者呈不整合接触时，煤系的地温场受基底地温场的控制，不均一性较强。

（三）岩浆活动的影响

矿区中的岩浆活动，特别是地质时代较晚的岩浆活动，其结果常常使矿区的地温增加。其原因一是岩浆岩，特别是酸性岩浆岩中所含放射性元素衰变热；一是岩浆的冷却余热。

近年来矿区地温测量的结果说明，例如，山东莱芜、金岭、坊子、沂南、陶枣等存在岩浆行动的矿区，地温有明显的偏高。东北、华南等地区，燕山期及其后的花岗岩和其它岩浆岩比较广泛地分布，新生代的岩浆喷发活动也比较频繁，常对矿区地温场有增温影响。但是，岩浆活动虽然对煤矿区地温场常有增温影响，但由于煤矿床是沉积矿床，大规模的岩浆活动将会使其丧失工业价值而不能形成矿区（井田），因而在矿区（井田）内的岩浆活动一般不会是很强烈的。岩浆活动对煤矿区的地温场的影响，主要是改变矿区地温场的地热背景，使煤系基底或矿区外部有较好的地热补给来源，并有利于形成地下热水成为矿坑热害的热源。

（四）地形的切割强度

地貌形态、地形的切割强度对地温场的直接影响通常不超过地形切割深度以下数十米。它影响到年恒温带的深度和温度，从而也影响到当地的热流值。在地形切割厉害、基岩裸露的西南等地区，有利于地热的向外发散，不利于储集，有降低矿区地温的作用。

（五）矿床开采的影响

矿床的开采改变了天然地温场状况，在矿井开拓范围内常形成人工地温场。天然地温场在地球内部及外部热源的长期作用过程中，常形成内热和外热的动平衡状态，地温场的变化一般是比较微小的，除了某些地下水的补给区以外，在矿山地热研究中常可以作为稳定地温场处理。但是，矿山开发以后，矿井坑道系统将成为矿区地热场的吸热或散热系统，打破了原始天然地热场的平衡，使地温场与之适应。在矿山开发过程中，对地热场影响的最重要作用是矿井的通风和排水。在一般情况下，通风会不断地从矿井中带走热量，而矿井系统的围岩又会不断地向坑道系统中传递热量。在多年冻土地区（如祁连山区的木里、江仑等矿区），矿井通风的结果，常使得浅部坑道系统的地温增高，形成融冻。矿井通风对矿区地温的影响程度与矿井的通风强度、风温与岩温的差值、矿坑所揭露岩层的热扩散率以及矿井的开采深度、开采强度和开采时间的长短有关。唐山矿在 1959～1974 年间，十一道巷南翼一石门及二石门地段岩层地温分别降低了 2～4℃，平均每年降温 0.16～0.22℃。矿区开拓通风对岩温的影响是明显的，但是其影响深度通常在数米至数十米之间。然而，矿井疏排地下水对矿区地温场的影响范围一般要大的多，这将在下面加以讨论。

三、地下水流场与矿区地温场的相互关系及其变化规律

矿区的水文地质条件也是决定矿区地温场特征的一个基本因素。地下水赋存和运动于矿区的各个含水岩层之中，这些含水岩层又处于统一的矿区地热场之中，矿区的地热场必然作用于这些含水的岩层而对其中地下水的温度施加影响；另一方面，地下水又在不断地运动，它们有补给、有排泄，地下水的水温与其介质的温度常处于动态平衡之中，经常发生着热量交换作用。就这样，地下水以其不断地运动的方式又对矿区地热场施加反作用。凡是影响矿区地温场的一些因素也可能作用于地下水的流场，对地下水的水温产生影响。地下水流场的研究常有助于研究矿区地温场，而矿区地温场的特征又和地下水流场的特征密切相关。

（一）岩层的空隙性和含水性

岩层具有各种空隙，空隙中含有空气或者地下水。岩层的热力学性质取决于固体骨架、水、空气这三部分的组成及分布特征。致密而坚硬的岩石，空隙度很小，空隙中含水或含空气对其热力学性质影响均较小。但是，对空隙比较发育的岩层而言，则情况有所不同。因为空气的热导率低，20℃时为 6.14×10^{-5}（cal/cm·s·℃），而水的热导率在 20℃时为 1.43×10^{-3}（cal/cm·s·℃），比空气大 23 倍左右。故，在空隙度较高的岩层中，含空气或含水对岩石的热导率有明显的影响。对于干燥的或天然含水量较低的多空隙岩层而言，热导率一般随空隙度的增加而降低，并随含水量的增加而增加（图 7－10 和图 7－11）。图 7－10 为砂页岩的热导率与含水量的关系曲线，第一组为 5 块岩样，第二组为 10 块岩样的平均值。从图中可见，热导率随着含水量的增加而增加，第一组岩样饱水时（含

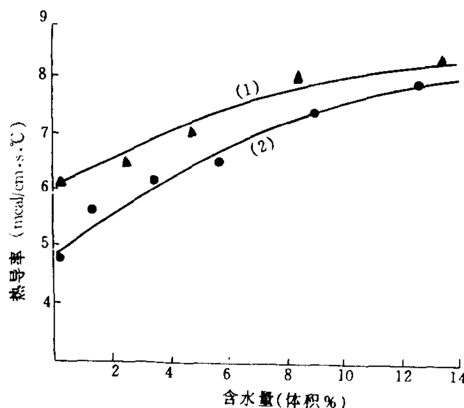


图7－10　岩石含水量对热导率的影响

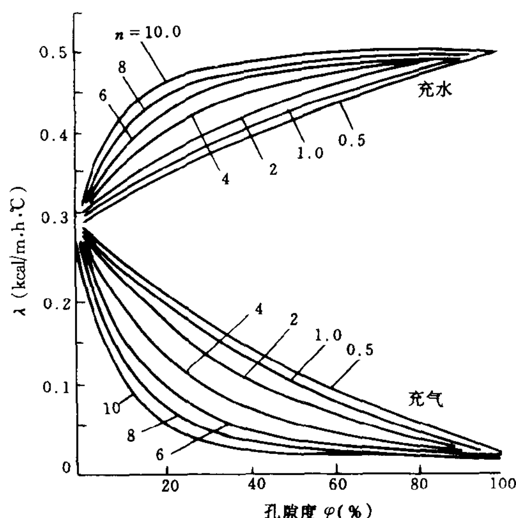


图7－11　孔隙物质热导率(λ) 与充填介质及孔隙度的关系

水量为 12.5%），热导率为 7.9mcal/cm·s·℃，较干岩样增加了 68%，第二组岩样饱水时(含水量为 13.2%)，热导率为 8.2mcal/cm·s·℃，较干岩样增加了 34%.

岩层的热导率（λ）与岩层的固体骨架部分的热导率（λ_s）、孔隙度（φ）、孔隙中充填物的热导率（λ_f）之间的关系，据菅原（Sugawara，1963）的研究，可以用下式表示：

$$\lambda = (1 - A)\lambda_s + A\lambda_f \quad (\mathrm{kcal/m \cdot h \cdot ℃})$$

式中　$A = [2^n/(2^n - 1)]\{1 - [1/(1+\varphi)^n]\}$. n 为大于零的经验指数。如孔隙中的充填物为水，则 $\lambda_f = 0.50$ (kcal/m·h·℃)，如为空气，则 $\lambda_f = 0.02$ (kcal/m·h·℃)。

由于水的比热远较各种岩石的比热为大（水的比热在 15℃时为 1，而石灰岩为 0.16～0.23，砂岩为 0.19～0.22），故当岩层中的含水量增大时，其比热及热容值也会随之增大。

在矿区中，空隙比较发育的岩层常形成含水层，在含水层空隙中的地下水不仅改变着岩层的热力学性质，而且还在重力的作用下从水位高的地方向水位低的地方流动，流动着的地下水对矿区地温场的影响显然要重要得多。由于水的热容量较大（在 15℃时为 1，而岩石的热容为 0.4～0.5），故流动着的地下水是良好的载热体和地温场中的传热媒介。含水岩层的地温状况取决于含水岩层自身的温度状况以及在含水层中流动着的地下水的温度和其变化状况，是二者的综合反映。含水层中的地温状态受到地下水的流动的直接影响，而含水岩层的地温状况又进一步影响到其上下岩层的温度分布状况，从而对整个矿区的地温场产生影响。图 7－12 是山西二二九队在晋城的两个实测钻孔资料，其中含水层段是通过流量测井资料确定的。可以看出钻孔的井温曲线在含水层段有明显的异常，突变点靠近含水层段的顶部。

矿区水文地质条件决定着矿区地下水流场的特征。在同一矿区，通常有若干个含水

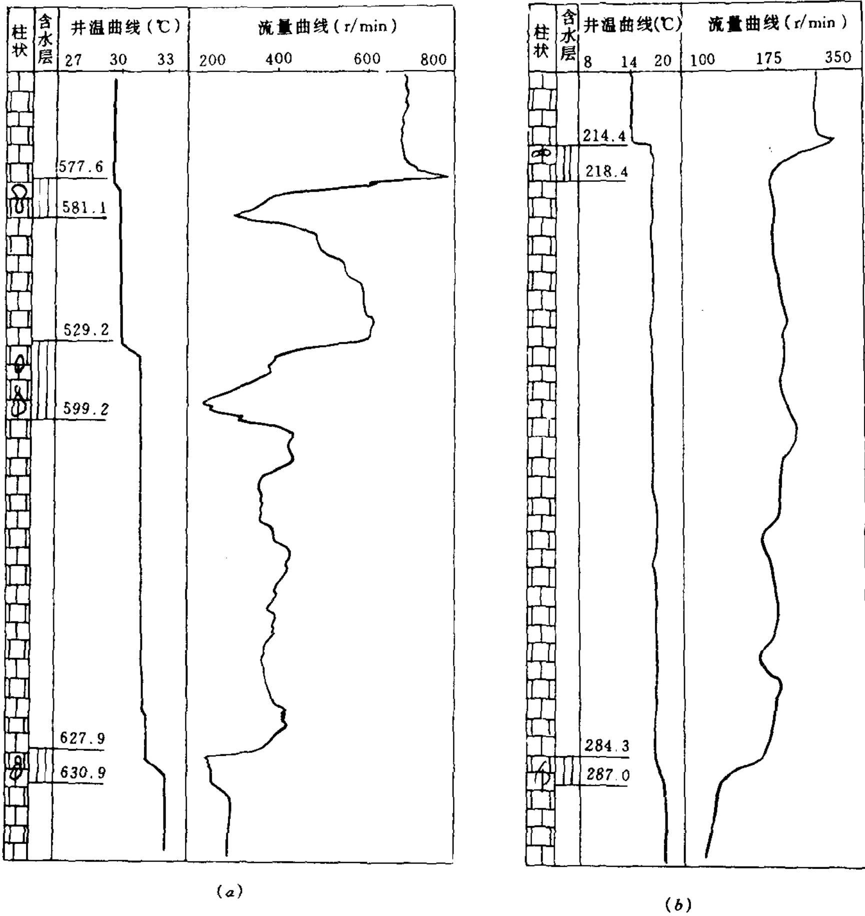


图 7－12　井温曲线与含水层关系图

层，这些含水层在矿区地温场及矿床水文地质条件研究中常有不同的地位。一般来说，富水性较强的、对煤层开采影响较大的含水层可能既是矿床水文地质工作的主要对象，又可能是矿区地温场研究的主要对象。

矿区中各个含水层通常都具有自己的相对独立的流场，它们的流场受它们的埋藏条件，补给、径流、排泄条件以及与其它含水层的相互联系程度等因素所控制。各个含水层的流场可能互相区别又互相联系，成为一个统一的地下水流场，也可能形成相对独立、含水层间缺乏联系的层状地下水流场。地下水的流场在矿床开采后可能产生较大幅度的变化，那些能向矿坑直接充水的含水层，它们的补给条件常常得到改善，与其它含水层的联系得到加强。矿区的地下水流场是通过流动着的地下水和含水岩层之间的热量交换而对矿区地温场施加影响的，故其影响程度受地下水的循环交替强度所控制，与流场的分布特征密切关联。矿床开采以后，矿井大量疏排地下水的结果，势必强化地下水的径流，使流场对温场的影响作用更趋重要，使矿床开采后地下水流场与矿区温场关系进一步密切。

地下水按其埋藏条件可以分为承压水和潜水。潜水一般埋藏较浅，对矿区地温场的影响深度不大；不是矿区地热工作的主要研究对象。

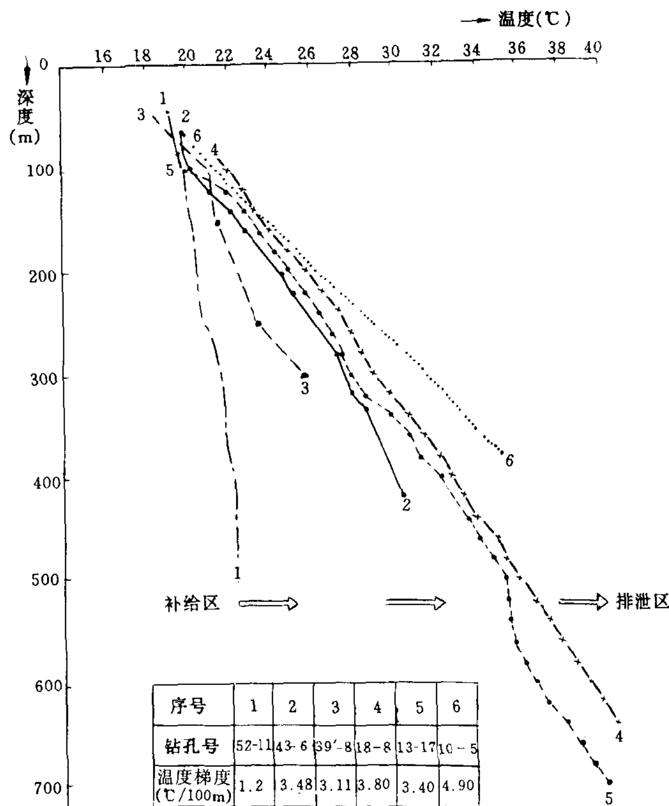
承压含水层的流场可以划分为补给、径流、排泄区。地下水的运动总是从补给区流向排泄区的。在补给区地下水的运动常以向下渗透为主，径流区则以水平运动为主，排泄区常以向上运动为主。地下水的流动过程就是和周围介质进行长时间和长距离的热量交换过程，在地下水的流动方向上，水温可能产生明显的变化，对矿区地温场可能产生性质不同的影响。

地下水的补给水源的温度决定了地下水流场的初始温度。补给水源的性质、补给方式、补给时间不同，地下水流场的初始温度也可能不同。大气降水和地表水的渗入一般是地下水的最主要的补给来源。在补给区及邻近地段，地下水向深部运动为主，地下水的温度通常低于围岩的地温，地下水的下渗和流动不断地把围岩的热量带走，从而使补给区及其附近地温明显地降低，且地温常随补给强度的变化而呈现相应的动态变化。矿区地下水的补给作用愈强其影响范围愈广泛。华北及华东、西北部分地区的石炭二叠纪煤田通常以奥陶系灰岩为沉积基底，奥陶系灰岩厚度大、倾角平缓、展布范围大、有较大的补给区，富含岩溶水，不仅使许多矿区的地温场地温有明显的降低，而且致使华北平原的周边部分呈现低温状况。位于太行山东麓的峰峰、邢台、鹤壁、焦作等矿区，位于燕山南麓的开滦矿区，其地下水的补给条件好，水交替强烈，矿区地温也多较低，煤系地层中地温梯度一般小于 2℃/100m，温度低，800m 深度处地温一般不超过 30℃，其中开滦唐山矿在 1000m深处地温仍不超过 30℃。

在北方，奥陶系灰岩岩溶水对围岩的降温作用是矿区地温场中广泛存在的重要影响因素。补给区如此，径流区也常如此；不仅太行山东麓、燕山南麓的一些矿区如此，而且其它许多以奥陶系灰岩为煤系沉积基底的矿区也如此。在径流区中，因为地下水的径流强度不同，常会使对应地段的地温有明显的差异。在地下水的强径流地带，其降温作用明显，幅度大；而径流弱的地带则地下水的降温作用弱、幅度低。在一些径流停滞的地带，地下水运动对岩温的降低作用很微弱，岩温与水温趋于一致，与当地段的地热场处于平衡状态。对于有地下水降温作用的地带，一方面地下水带走大量的热量使围岩温度降低，另一方面当地的地温场又力图在地下水补给减弱、径流变缓的时候使围岩的地温回升，从而形成了该处地温的动态变化，只是在自然条件下这种变化多比较微弱。在这种条件下，地下水水温与围岩地温之间形成动平衡关系，但与当地的地热场未达平衡。

在地下水的排泄区，地下水常以向上的运动为主，在地下水通过补给区和径流区再流至排泄区后，水温通常都较补给水源的水温有了不同程度的升高。故除了地下水埋藏很浅或者其交替十分强烈的地区之外，地下水可能对浅部岩层有增温的作用，尤其是在地下水的径流循环深度较大的地区，这种现象也就比较明显。如果地下水的循环深度很大，则可能形成地下热水，地下热水的向上运动将引起局部地温有较大幅度的增加，形成地温异常。如果地下热水补给了其它含水层其影响范围则也就随之而扩大。热水的上升活动最常见的通道是由断裂构成的导水系统，这些断裂既可能是张性的，也可能是压性的。因为压性断裂往往是许多矿区中的主导断裂，规模大、且受力不均匀，尤其是那些新构造期中继续活动的断裂，也同样易于成为地下水深循环和排泄的通道，故沿压性大断裂带出露的温泉也不乏其例。

地下水流场中沿径流方向上的地温变化状况可以以平顶山矿区煤盆地南翼为例说明（图 7－13），补给区地下水循环较强烈，温度较低，在作较深循环后到排泄区上升时温度则较高。



序号	1	2	3	4	5	6
钻孔号	52-11	43-6	39′-8	18-8	13-17	10-5
温度梯度(℃/100m)	1.2	3.48	3.11	3.80	3.40	4.90

图7－13　煤盆南翼沿地下水径流方向上的地温变化

矿区地下水的流场是多种多样的，一个包括补给、径流、排泄区在内的水文地质单元大则可达数千平方公里，小者十余平方公里；地下水的径流深度深者达千米以上，浅者在数十米之内，矿区地下水的补给、径流、排泄条件相差甚大，地下水流场对矿区地温场的影响程度也大不相同。孔隙含水层一般埋藏浅，对地温场的影响也小。裂隙含水层的渗透性及富水性随着深度的增加衰减得较快，风化带含水层发育不深，对地温场影响较大的是断层及构造裂隙带的地下水。石灰岩在我国广泛分布，与煤矿床开采的关系密切，岩溶发育深度大、富水性强，凡是有岩溶强含水层存在的矿区，它们对矿区地温场都有积极的影响。表 7－10是某些矿区的地温梯度表，这些矿区都是北方型石炭二叠系岩溶充水为主的矿区，多数矿区地温梯度均属正常或偏低状况，其中地温梯度偏高者多属局部地段。同是岩溶充水矿区，也因为补给、径流条件差别，地温场也有不同的表现。前述的太行山东麓的峰峰、焦作等矿区，因为可以得到山区大面积的大气降水补给，矿区水文地质单元中灰岩裸露面积常在上千平方公里左右，补给量大、交替强烈、矿区地温和地温梯度较低；而另一些矿区，如山东充州、安徽两淮等，石炭二叠纪煤系虽然也以奥陶系灰岩为基底，同样存在着地下水对地温场的降温作用和矿坑排水对这种作用的强化现象，但因为奥陶系灰岩出露面积较小、补给条件较差，造成这些矿区较峰峰、焦作等矿区地温梯度要大，均高于 2℃/100m。

表7-10 部分矿区地温梯度状况

矿区名称	地温梯度（℃/100m）	矿区名称	地温梯度（℃/100m）	矿区名称	地温梯度（℃/100m）
开滦、蓟玉	1~2	永夏	2.3	潘谢	2.3~3.0
济宁	2.5	澄合	2~3	徐州	2.11~3.43
滕县	2.73	韩城	2.57	丰沛	2.55~3.43
禹县	1~3.9	平顶山—韩渠	3.8		
偃龙	0.25~1.30	淮南	1.1~1.8		

矿床开采以后，地下水的径流交替更为强烈，矿区大量疏排地下水，使流场对地温场发挥更积极的作用。从我国煤矿开采的实践来看，凡是底板水为主的岩溶大水矿区，虽然目前开采深度很大，有的矿区已近千米，但仍未出现较严重的热害现象。在我国，许多老矿区的矿坑排水量很大，疏排历史久远，淄博、开滦、峰峰、焦作、煤炭坝等一批矿区，矿区排水量都在 10 万 m^3/d 以上。其中焦作一个矿区排水总量即达 100 万 m^3/d 以上，如果矿坑水水温平均较补给水源的水温高出 2℃，则每天由矿坑排水所带出的热量达到 2×10^8cal 这显然对矿区地热场将产生极大的影响。唐山矿是一个老矿井，从 1923~1973 年间总排水量达 6.7亿 m^3，由于疏排地下水而从井下带出的热量显然是相当大的，这种长时期的排水使唐山矿的地温明显地偏低，也是其它老矿区地温较低的重要原因。当然，在老矿区（井）中长期大量的通风也是地温偏低的原因之一。

矿区的水文地质条件对矿区地温场有明显的作用，从水文地质条件的角度上讲，在下列地段易于形成矿井热害。

（1）矿区（井）处于地下水深循环后的径流、排泄地带附近。地下水的深循环常沿断裂带进行，在切割较深的导水断裂的附近常可见到地下热水。这些深循环后的地下水进入矿井后便可以成为热害的热源。例如，黄石胡家湾矿等。

（2）恒温带温度较高而地温梯度正常，地下水循环较深的矿区。例如，广西合山里兰矿恒温带温度 23℃，矿区地温梯度 2.7℃/100m，矿井水以底板水为主，排水中 50%水量水温达 30~32℃，个别达 35℃，甚至更高。

（3）虽然煤系下伏有区域性强含水层，但在径流条件较差、径流较微弱或者补给条件不好、补给量小的矿区或地段易形成热害区。例如，平顶山矿区，基底隆起形成地垒式构造，地下水的补给、径流条件较差，对岩温的降低作用较弱，是形成该矿区一些矿井热害的重要原因。

（4）在矿井的开拓深度很大的地段，底板含水层中易形成地下热水，在可能突水的地段易产生矿井热害。

在煤田勘探过程中，可以利用矿区地温场的特征及地下水的水温变化状况等去了解地

下水流场的特征。也可以通过钻孔测温曲线的分析，划分含水层和隔水层。矿区地温场的观测可以和地下水的流场观测统一进行，互相配合，在地下水的各个长期观测孔中，在水位观测的同时，可以进行地温的长期观测工作。

第三节　煤矿区地热场的基本状况及其区域特征

一、矿区地热场的基本状况

煤矿床是沉积矿床，煤矿区地热场一般由三个或三个以上的地热结构层组成，即煤系的沉积基底，煤系和煤系的上覆岩层、上覆松散层构成，为层状的非均质地热场，不仅各个地热结构层间热力学性质显著不同，而且同一个地热结构层内部其导热性也有明显差异。在总体上，地热场中沿层的导热性较垂直岩层层面的导热性要强得多。

煤系是煤矿区地热场的研究重点，特别是主要煤层的顶底板和主要井巷穿过的地段。煤系内煤层的变质程度对温度十分敏感，煤矿区的煤质状况常可以作为判断矿区地热场的历史和演化的重要依据。煤系内煤层的导热性很差，故主要煤层和主要含煤段地温梯度往往较高，且地热等温线往往和主要煤层的底板等高线有相当的一致性或相似性。

矿区地热场研究的关键是煤系，是主要含煤段，但是煤矿区地热场的热源则主要来自于其下部岩层，来自煤系的基底或断裂带。前者是大范围的一般性的热源，而后者则主要表现为局部性的热源，这两种热源当有地下热水时，由于热水的流动，其影响范围和程度将有明显的增强。从中国煤田的实际情况看，煤田沉积的基底多为沉积岩层，只有少部分为火山碎屑岩类，导热性普遍较差，且厚度较大，北方的 CP 煤系及南方龙潭煤系，其沉积基底分别为寒武奥陶系灰岩强含水层和二叠系阳新灰岩强含水层，由于许多地方地下水径流好，形成煤系的低温垫层。

在煤矿区中，煤的上覆地层其导热性通常较煤系更差，特别是上覆岩层顶部的厚粘土层。但是，含水丰富的基岩层或松散层其导热性则有明显的改变。

正因为构成煤矿区的各个热结构层的导热性均较差，故矿区的热流值通常属正常或偏低，除了极少数矿区之外，煤矿区热害通常只是在正常地热背景条件下由于开采深度过大而造成的，这是煤矿区地热场的一个重要特征。同时，与矿区地热背景有密切关系的矿区地下热水通常也是由于地下水作深循环而形成，一般与岩浆活动很少关系。地下水深部循环的通道一般是岩溶含水层或深断裂带。沿断裂带分布的地下热水多与新构造期仍然活动的继承性断裂或新构造断裂有关，因为此类断裂胶结较差，常常也是地壳深部热量向上传递的良好通道，当这种断裂切过深部的含水岩层时，往往为深部热水向上运移提供了有利条件，但这种断裂断距较大，分布于井田边界或以外，对矿区地热场影响较小。对矿区地热场影响较大的地下热水，通常是埋藏深度很大，由于地热增温而形成的热水，这类地下热水通常是分布于煤系的底部含水层中。如果热水含水层是矿井的直接充水含水层，则对煤矿地热条件有重要的直接影响，如果在矿井充水中只是作为间接充水含水层，即补给水源时则其对矿井地热条件的影响视其对直接充水含水层的补给强度而定，如果在矿井开采中，不能向矿井充水，则为间接影响。在矿床热水研究中，首先要研究的是矿区是否有形成地下热水的条件和热水的分布，再研究地下热水在矿床开采中是否可以进入矿井以及进

入矿井的方式、途径。在对策上首先要避免热水进入矿井或者在矿井下集中疏排，防止矿井地热条件恶化；在有地下热水但热水不能进入矿井的条件下，也应考虑地下热水的综合利用，这不仅可以提高矿山效益，而且也有利于改善矿区地热场条件。总的看来，以地下热水含水层为直接充水含水层的矿井在中国煤矿床上并不多见，分布也比较局限，但随着矿井开采深度的增大，地下热水进入矿井的可能性也会有所增大。

二、矿区地热场的区域特征

煤矿区地热场的特征取决于矿区三个基本的地热结构层的特征和相互组合关系，受区域地层、构造及水文地质条件所控制，具有明显的分区特征。

根据控制煤矿区地热场的地层、构造、水文地质条件的区域变化状况，结合我国煤田地质勘探及煤矿床开发实践，本节对我国煤矿区地热场进行了概略的分区并简要的归纳了各区的矿区地热场的基本特征。可以看出，地热场的分区和矿床水文地质条件的分区具有相当的一致性。

（一）华北、华东及西北东部地区

在华北、华东及西北东部，包括阴山、沈阳一线以南，贺兰山、六盘山以东，秦岭以北的广大地区，含煤地层以石炭二叠系为主，煤系的沉积基底为寒武一奥陶系石灰岩。区内煤矿床水文地质条件普遍比较复杂，以底板石灰岩岩溶裂隙水为矿床的主要充水水源。我国许多重要的大水矿区都分布在此区内。奥陶一寒武系石灰岩为区域性强含水岩层，其总厚度多在数百米或千米以上，地下水的交替循环比较强烈，不仅与煤矿床的开采关系密切，也是此区内石炭二叠系煤田的低温垫层，其作用使此类煤矿区的地温普遍偏低，地温梯度普遍低于 3℃/100m，特别是在太行山东麓的峰峰、邢台、鹤壁、焦作以及燕山南麓的京西、开滦矿区等，灰岩地下水补给条件好、循环强烈，加之矿区开采历史悠久、长期疏排地下水，使矿区地温偏低更多，其中开滦、蓟玉等矿区地温梯度仅 1～2℃/100m。开滦矿区的地热结构见图7－14。

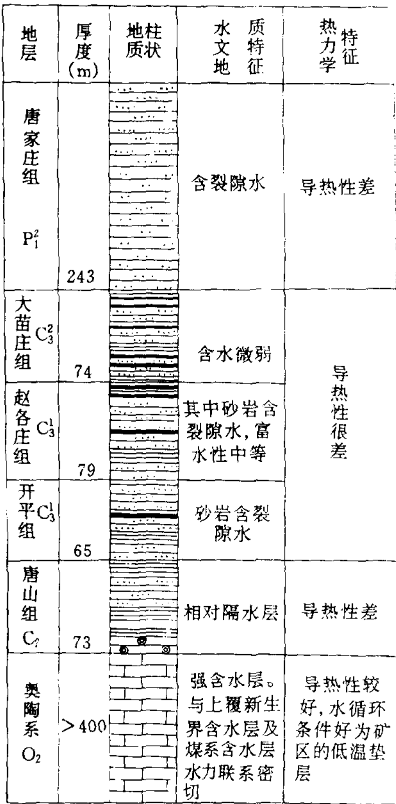


图7－14 开滦矿区地热结构

奥陶一寒武系石灰岩的热力学性质与其含水性关系十分密切，在不含水或含水微弱的条件下，其导热性能更较砂岩、泥岩等碎屑岩类要强。在那些地下水径流交替微弱的地段，由于这些地段上石灰岩导热性较强、地下水的降温作用极弱而使其地温要偏高一些，可能有矿井热害。这些径流微弱的地段

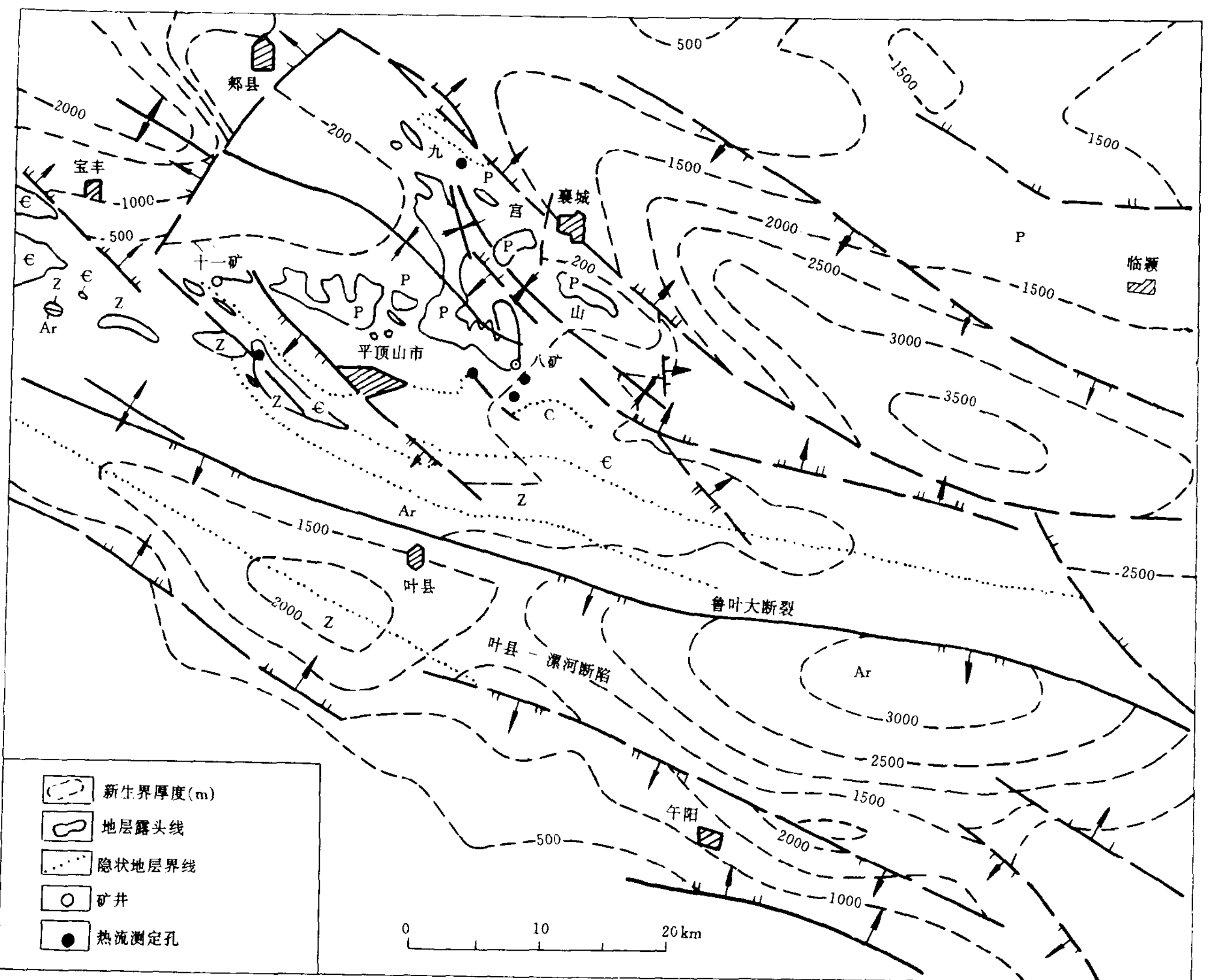


图 7-15 平顶山矿区地质构造图

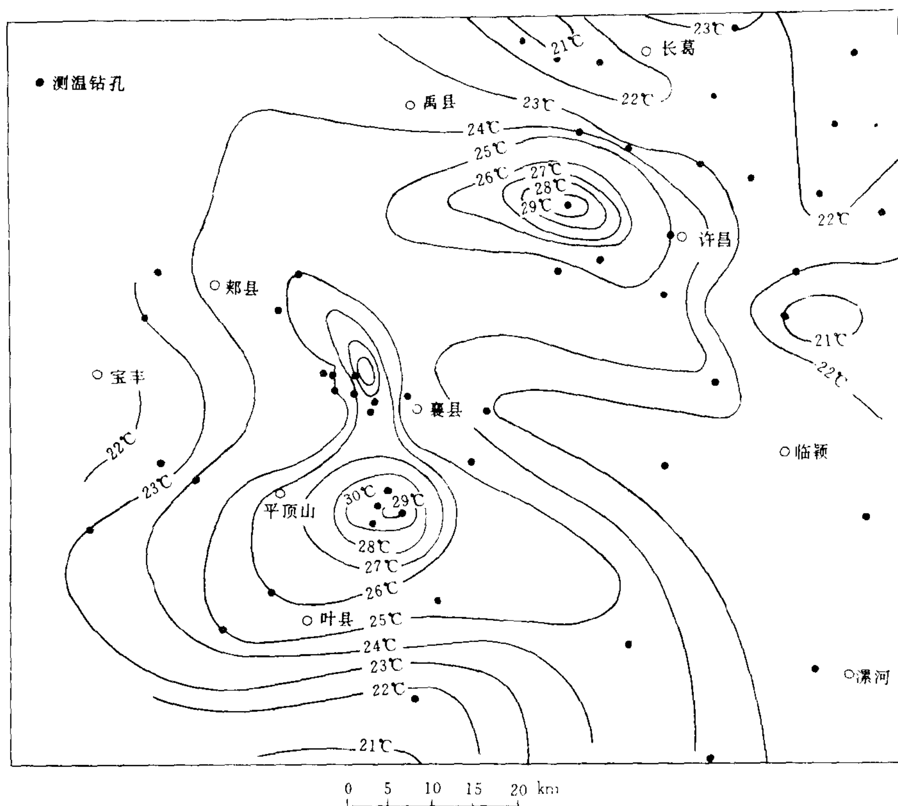


图7－16　平顶山及外围 300m 深地温等值线图

其周边往往有断裂构造存在，常形成地垒构造，使地段内的地下水与外部地下水的联系减弱。如峰峰的梧东、羊渠河东井田等。此外，由于基底隆起、补给条件较差等原因也会形成地温偏高的矿区，其中平顶山矿区就是一个为人们所熟知的例子，其地温梯度可达 3.8℃/100m 平顶山煤田为四周坳陷所衬托的地垒构造，区内外基岩面高差 1000m 以上，(图 7－15)，高温区的范围同基底隆起的范围一致。从隆起区一进入四周厚松散层的坳陷区，浅部地温（200m 或 300m 深处）,明显下降,见图 7－16。

区内奥陶系与石炭二叠煤系间呈假整合关系，奥陶系石灰岩的地温分布状况与煤系的地温分布状况有较大的一致性。从奥陶系灰岩生成后至中石炭世本溪组沉积以前，有过慢长的沉积间断时期，为石灰岩的岩溶发育提供了比较充分的时间，在此期间内构造比较稳定，地形起伏不大，岩溶发育的差异性较小，地下水分散地接受补给、分散径流，而以泉群集中排泄为主，泉域的面积广大，在多年地下水水位以下岩溶形态以溶蚀裂隙为主。中石炭世初期，本区开始沉降接受沉积，由于下沉过程以总体大面积坳陷为主要特点，表现的差异性较弱。在石炭二叠煤系沉积过程中，奥陶系灰岩浅部的溶蚀空隙多遭充填，但对其深部影响较小，许多地方的地下水径流仍然可以持续下去，岩溶仍能缓慢地发育下去，表现出较多的继承性。在印支运动时本区内构造开始出现了较明显的差异，但由于煤系基底刚性较强，区内构造主要表现为断裂和较平缓的褶皱；又因为寒武奥陶系灰岩厚度很

大，一般断层不易完全切断它们，故一个矿区水文地质单元的面积仍然很大。但是，在一个水文地质单元内部，由于断层的切割却使得某些地段与外部的联系减弱，特别是那些形成地垒的块段，这些块段的地下水径流减弱而使得地温偏高。此外，由于地层褶皱前岩溶发育存在着向深部减弱的现象，褶皱后在同一标高上背斜地段的地层层位偏下，岩溶也较弱、渗透性较小，故在某些背斜地段也可能是径流较弱的地段，易形成地温偏高，易形成地下热水。在这些径流较滞缓，地温偏高的一些的地段，寒武奥陶系灰岩内部地温梯度也常会较大一些。

区内石炭二叠煤系为海陆交互相一陆相沉积。成煤时代主要为晚石炭世和早二叠世。晚石炭世时，海侵方向从东南而西北，故太原统地层东南厚，含灰岩岩层多且较厚；往北则灰岩减少，至燕山南麓则主要为陆源碎屑沉积，不含灰岩，可采煤层与奥陶系灰岩间有百米以上的导热性差的岩层。奥陶系灰岩水与太原统薄层灰岩水之间存在着较密切的联系，特别是在矿床开采条件下，与奥陶系之间温度差别较小，地温梯度也较小。

本区比较典型的矿区地质一地热结构柱状图（图 7－17、图 7－18、图 7－19）。新 生

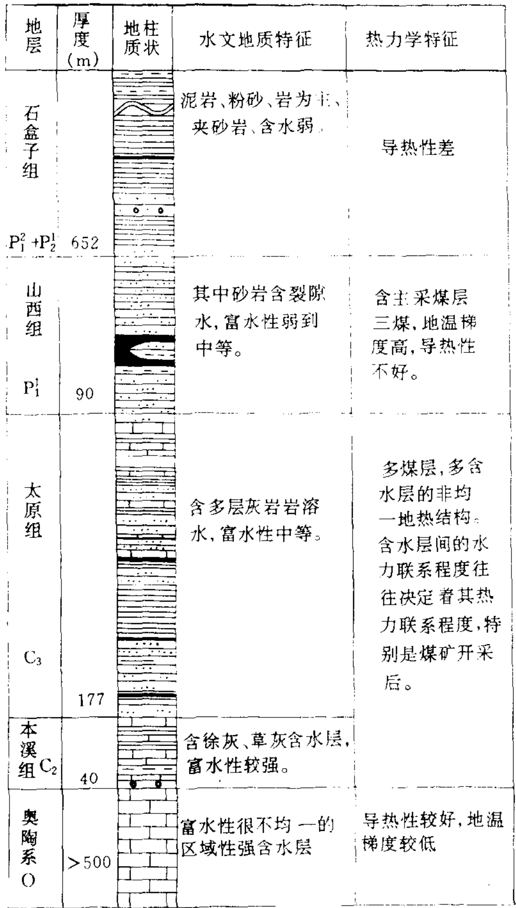


图 7－17　华东滕县煤田地热结构图

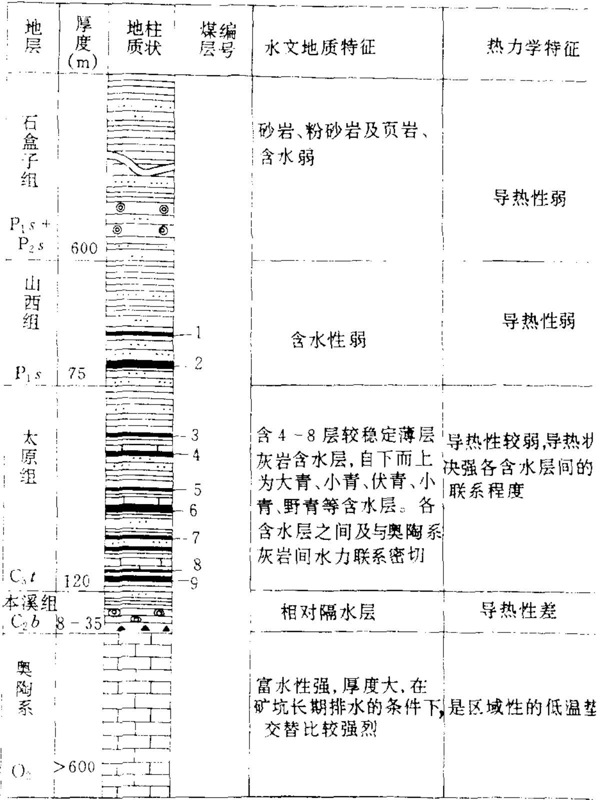


图 7－18　华北峰峰矿区地热结构图

界覆盖的地区，矿区的储热条件较好，可能使地温稍高一些。例如，淮南老区新生界地层薄、开采久，地温梯度仅 1.1～1.8℃/100m，而在淮南新区（潘谢矿区）有巨厚的新生界覆盖，地温梯度为 2.4～3℃/100m。

(二)华南地区

大体上包括秦岭构造带以南、贺兰山一大雪山一线以东的广大地区。区内含煤地层以二叠系龙潭（宣威）煤组为主，其沉积基底多为二叠系茅口一栖霞灰岩，如同北方奥陶系灰岩一样，也是区域性的强含水层，由于降雨充沛，地下水的补给条件较好，形成南方很多矿区的低温垫层，对降低矿山地温有明显的影响。其中，湖南煤炭坝、斗笠山、恩口，四川南桐、古叙、筠连等矿区便是比较典型的代表（图 7－19）。煤炭坝、云湖桥、丰城等矿区，不仅煤系之下有茅口灰岩，而且上有长兴灰岩，处于两个强含水层之间（图 7－

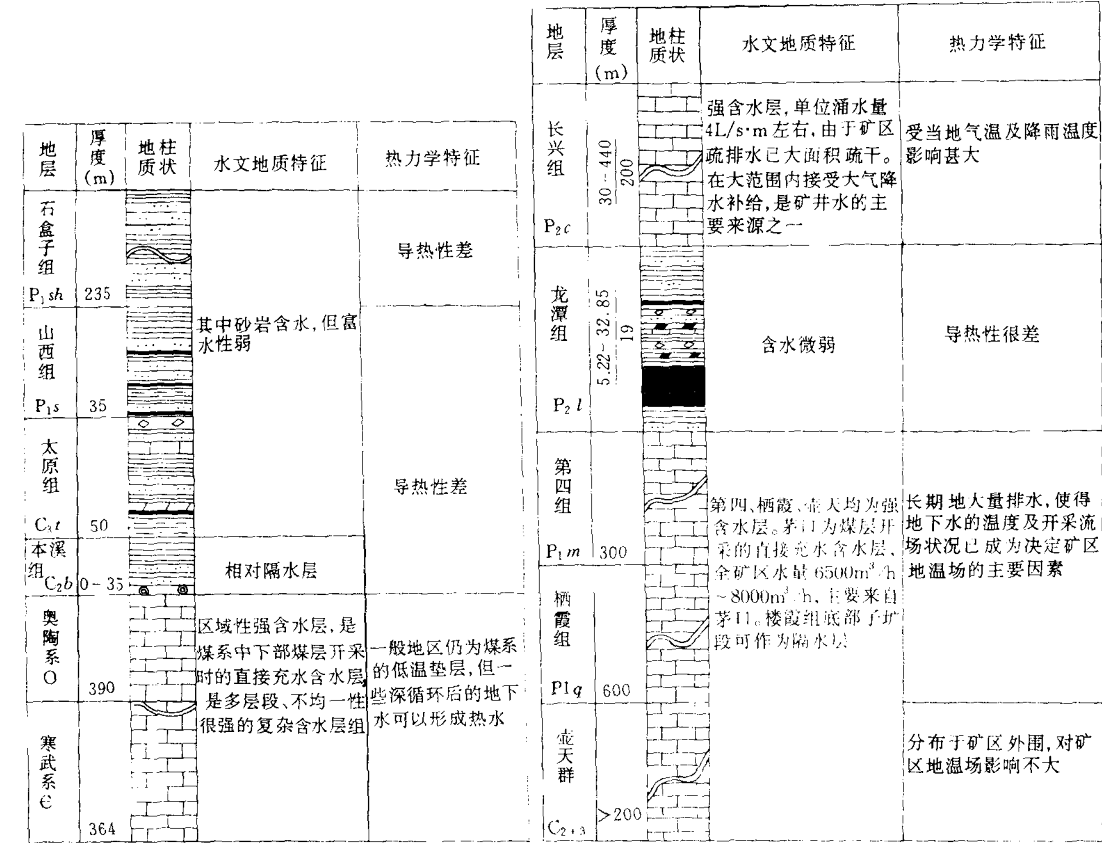


图7－19　韩城矿区地热结构图

图7－20　煤炭坝矿区地热结构图

20、图 7－21），地下水的活动特别是矿山开采以后大量疏排地下水的结果，会使矿区地温偏低更明显。在四川南部及贵州等地，茅口灰岩与二叠纪煤系之间有厚度很大的峨嵋山玄武岩相隔，使茅口灰岩岩溶水不能直接进入矿坑，矿床水文地质条件趋向简单，但灰岩岩溶水的活动仍然是矿区地温场的重要影响因素（图 7－22）。在二叠纪龙潭煤系沉积以后，

茅口灰岩中的岩溶发育发生了明显的分异，在接受煤系沉积的地段，部分原有的岩深空隙被充填了，岩溶作用只是在那些径流条件可以保持下去的地段得到持续的发展，但强度已大大减弱，深部仍以溶蚀裂隙为主；在浅部地带岩溶继续强烈地发育，形成了地下暗河及大型溶洞，地下暗河水系一经形成，浅部与深部的岩溶发育分化更趋强烈，差异更为明显，使深部岩溶和浅部岩溶成为具有相互联系而又相对独立的两个地下水体系。浅部地下水径流交替条件好，深部地下水的交替条件则较差，深部地下水水温则与浅部水温有明显的差异，对地温场的影响亦不相同，可能造成浅部与深部地温场的较明显的差异状况，在矿床开采初期矿坑水的水温可能较高，尔后由于浅部水补给量增加，其温度可能会有所下降。

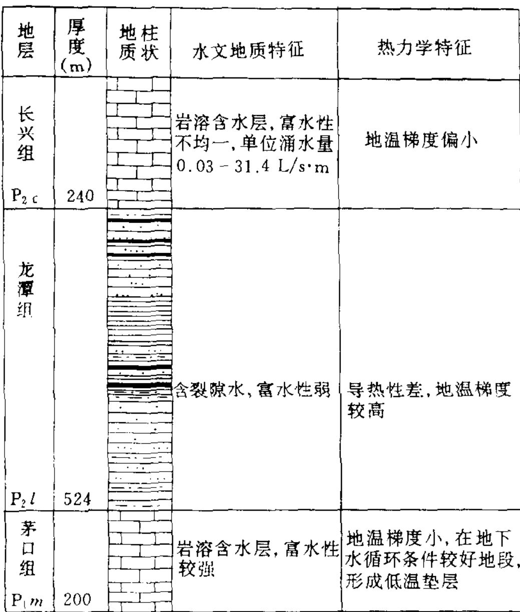


图7－21　丰城矿区地热结构略图

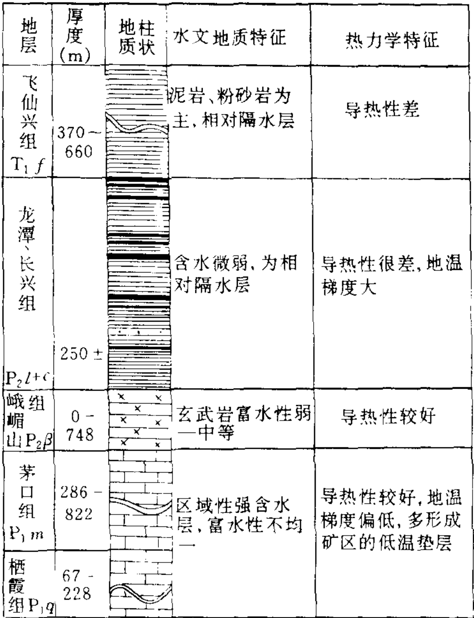


图7－22　盘县矿区地热结构图

在华南地区，除了二叠纪龙潭煤系以外，还有二叠纪测水煤系及梁山煤系等，它们分别处于梓门桥灰岩与石凳子灰岩以及栖霞灰岩和马平灰岩之间，虽然这些灰岩的富水性常较茅口灰岩为弱，但地下水的活动仍不失其为地温场的重要影响因素。

由于华南地区所经历的构造运动比较强烈，矿区岩层倾角较大，断裂和褶皱比较发育，地下热量向上传递的条件较好，但在平面上的分布状况相对于华北而言，其不均一性则较强，在一些切割较深的断裂带附近或煤层赋存较深的地段，易于产生热害或者导致热水进入矿坑。例如，广西合山、湖北黄石胡家湾等矿。在筠连矿区，一般地段地温梯度为1.3～2.9℃/100m，但在沐爱地段有6个钻孔测温结果地温梯度可达3.66～4.21℃/100m为矿区中的地温异常灶段，苏南宜溧矿区地温梯度一般为2.22℃/100m，但川埠矿在－300m水平为30℃，地温偏高，这些都推断和构造因素有关。

（三）东北地区

区内含煤地层以侏罗一白垩系为主，次为第三系及石炭二叠系。煤系的沉积基底含水一般比较微弱，对矿区地温场的影响甚小。煤矿床在水文地质上多属裂隙充水类型，矿坑涌水量一般不太大，风化裂隙带的地下水常常是矿井充水的主要水源，当矿井开拓达到一定的深度以后，矿井涌水量常随着开采深度的增加而减少。除了在断裂附近地段以外，地下水的活动对矿区中深部地温场的影响一般不大。矿区的地温场特点主要取决于所处的大地构造位置和由此而决定的基底的导热性、构造情况及岩浆活动程度等特点。

位于大兴安岭西坡的许多煤田，例如，扎赉诺尔、陈旗、伊敏及霍林河等矿区，下伏为导热性弱、厚度很大的碎屑岩；煤层埋藏浅，煤的变质程度低，一般为褐煤；矿区经受构造变动轻微，断裂不很发育，一般没有热害问题，且煤层常为矿区中最主要的含水层、富水性较强，是降低地温场温度的因素。

位于大兴安岭以东的矿区地温场变化较大。在郯庐断裂带的一些中、新生代地堑式断陷含煤盆地，基底的导热性能好、断裂发育、岩浆活动比较强烈，使得煤系基底地温较高，由于煤系的导热性差，造成矿区的地温梯度偏高，例如，抚顺、鸡西、辽源等矿区。抚顺矿区为第三纪煤田，地温梯度达 4.57℃/100m；鸡西滴道矿三水平停风后工作面温度可达 40～50℃。远离郯庐断裂带的其它一些矿区如营城、舒兰等以碎屑岩为煤系的沉积基底者，地温梯度多属正常。

（四）西北地区

本区的含煤地层以侏罗系为主，次为石炭二叠系及三叠系。石炭二叠系煤田主要分布在陕西、宁夏地区，其中陕西渭北煤田的矿床水文地质条件及地温场特征属华北类型。

侏罗纪及三叠纪煤系属陆相沉积，矿区多位于干旱半干旱地区，多为矿床水文地质条件简单的矿床。煤系及其沉积基底和盖层一般情况下含水均较微弱，地下水补给条件差。除矿区浅部以外，矿区的地下水对矿区地温场的影响较小。

煤矿区中，第四系覆盖一般较薄。但第三系分布比较广泛，是一些矿区煤系的主要上覆地层。第三系成岩程度较差，导热性能不好，使煤矿区的储热条件较好，但由于西北地区煤系地层的沉积基底主要为导热性也很差的巨厚的碎屑岩类（表 7-11），故矿区热量的补给条件不好，矿区地温一般仍属正常。

西北地区，新构造运动比较发育，继承性断裂活动比较明显，断裂多期活动的结果，往往使断裂带胶结较弱，成为地下水循环和传递地热的通道有时甚至成为煤层变质的重要影响因素，如青海热水矿区，但这些断裂多位于矿区以外，对矿区地热场影响较小，但有时成为矿区地热单元的边界。

在祁连山区大通河流域的江仑、木里等矿区，多年冻土呈片状分布，厚度可达百米左右。谷地两侧的山区，由于新构造时期剥蚀作用形成融区，是地下水接受大气降水的补给区。而在谷地中河床下及大断裂的某些地段形成的融区，则是地下水的排泄地段，一些冻结层下泉便在这些地带出露，成为地热散失的集中通道。祁连山区的多年冻土属第四纪冰川时期的遗留产物，现在处理缓慢的衰退时期，在许多地区发育有热融现象，形成热融湖或热溶洼地。在这些多年冻土区，多年冻上对矿区的地面建筑危害较大，对井巷浅部也会因为融冻作用而产生各种工程地质问题，矿区地温场的研究常常在浅部，需研究浅部地温场的特点和浅部地温场在矿区建设条件下的变化等。

表 7－11　艾维尔沟矿区地热结构

<table>
<tr><th>地层</th><th>厚度（m）</th><th>岩　性</th><th>水文地质特征</th><th>热力学特征</th></tr>
<tr><td>头屯河组 J_{2t}</td><td>>100</td><td>砂岩夹粗砂岩，下部夹薄层粉砂岩和细砂岩</td><td rowspan="2">含裂隙水、富水性很弱</td><td>导热性差</td></tr>
<tr><td>西山窑组 J_{2x}</td><td>740</td><td>砂砾岩、砂岩、泥岩，含 3～5 层可采煤层</td><td rowspan="3">导热性不好，特别是八道湾组</td></tr>
<tr><td>三江河组 J_{1s}</td><td>163</td><td>粉砂岩为主的湖相沉积</td><td>相对隔水</td></tr>
<tr><td>八道湾组 J_{J1b}</td><td>539</td><td>砂岩、粉砂岩、泥岩、炭质泥岩和煤互层</td><td>含水弱至中等</td></tr>
<tr><td>T_{2-3}</td><td>324</td><td>砾岩、砂岩和黑色泥岩，夹粉砂岩</td><td rowspan="2">富水性很弱</td><td rowspan="2">导热性很差，为巨厚的阻热垫层</td></tr>
<tr><td>P_2</td><td>530</td><td>黑色泥岩夹数层油页岩</td></tr>
</table>

第四节　煤矿区地温场的控制与热水的疏排

一、概况

矿区的地温场在矿床开采以后会发生较大的变化。矿床开采以前的地温场一般可以视为稳定地温场，但是在开采后在矿井系统周围所形成的地温场则多为非稳定地温场，矿井成为矿区地热散失的一个新的重要途径。矿床开采过程中，尽管矿井中热量的来源多种多样，但是在有热害的矿井中岩温过高或进入坑道的地下水水温较高常常是形成热害的重要原因。在坑道的围岩岩温高于坑道中气温的情况下，围岩将不断地向矿井内散热，其散失热量的大小与围岩岩温与矿井气温的差值大小关系明显，井下年平均风温随通风距离递增（图 7－23），有地下热水进入矿井时，地下热水不仅使矿井中空气的温度升高，而且也使得其湿度增加、熔值增高。由热水引起的热害程度一般与热水进入矿井的方式、地点、水温及水量大小有关。在有热害的矿区，其地温场必须尽可能地加以控制，使其向矿井中传递的热量最小，或者通过改善通风状况等措施使传递到矿井中的热量尽快地带走，从而减少矿井中热量，达到降低井下温度的目的。

当围岩的岩温较高时，赋存于其中的地下水的水温也较高。在矿井的开拓深度足够大以后，在围岩的含水层中易于形成地下热水，成为矿井的充水水源和热害的热源。在那些围岩的岩温并不高的矿区，也可能因为导水的断裂使得深部热水进入矿井产生热害。在有地下热水涌入的热害矿井中，对地下热水的研究是至关重要的，地下热水既是矿山热害的

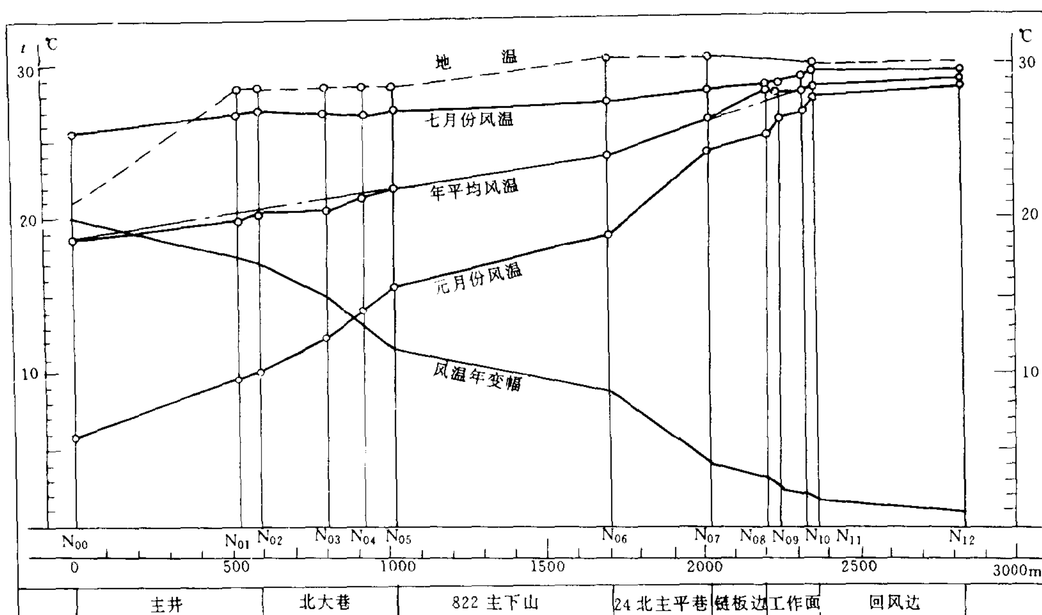


图 7-23 合山里兰矿井下风温的沿途变化

热源，同时又是一种宝贵的资源。对于地下热水的防治与开发利用是矿山水文地质工作及地热工作的重要组成部分。在一般的情况下，必须把矿区的地下热水的利用和由于地下热水所造成的矿井热害的防治工作结合起来，作出统一的规划。从防治热害的角度考虑，应该尽量地避免热水进入矿井，或者在热水进入矿井后能够集中起来尽快排出矿井，使其在矿井内散失的热量最少。从利用地下热水的角度考虑，也应该减少热水热量的散失，保持较高的水温并防止水质的污染。

从矿床水文地质条件上考虑，应该研究地下热水对矿床充水的作用，即地下热水与矿床开采间的关系。地下热水含水层（带）与矿床之间有无稳定的隔水层，这些隔水层的岩性组合、厚度及受构造破坏程度、隔水程度等，研究地下热水能否向矿井直接充水以及充水的方式、充水的途径和范围，充水的水量、水温及其变化情况，地下热水在矿井涌水量中所占比例等。

地下热水进入矿井通常有两种主要形式：一是通过底鼓突水或断裂带导水直接进入矿井；一是通过导水断裂补给矿井的直接充水含水层（图 7-24）。前者是作为矿井充水的直接水源进入矿井的；后者是作为矿井充水的补给水源而存在的，其进入矿井时的水温低于地下热水的原始水温。当热水以底鼓的形式进入矿井时，应该预测突水的范围，分析突水产生的条件，预测突水的水量；当热水可能通过断裂进入矿井时，应该研究这些断裂的产状及分布特征。在以上的工作基础上，采用相应的措施来避免或者减少热水进入矿井。热水在作为补给来源通过直接充水含水层进入矿井时，其向矿井的充水水量及温度不仅取决于热水本身的特征（水量、水位、与直接充水含水层的联系程度等），而且还取决于直接充水含水层的导水能力和富水性，应进行综合研究。

对地下热水的防治同大水矿区对地下水的防治有许多相似之处，矿山热水的防治和地

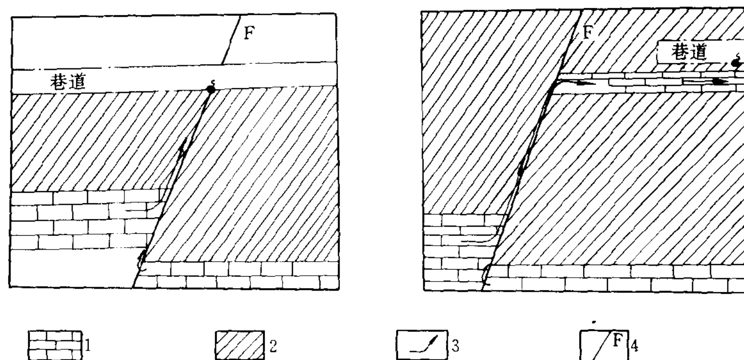


图7－24 热水进入矿井的两种主要万式

1－含水层；2－隔水层；3－地下水运动方向； 4－断层

下水害的防治经常是一致的，凡是矿区防治地下水的一些办法均可以根据具体情况在防治井下热水中得到应用，可以采用防、排、堵等不同办法，诸如底板加固、留设防水煤柱、地面（或井下）疏水降压、排供结合、堵集中渗流带等等。对于在地质勘探阶段进行了较多工作的一些拟建矿井而言，凡是有地下热水者，都应该在矿井设计阶段就对地下热水的防治和综合利用作出统一的合理安排。

近些年来，由于煤炭工业发展比较迅速，开拓深度也增加较快，在部分矿井中已出现热水和热害，这个问题已引起普遍重视。地下热水的研究工作既是地热工作的组成部分，又是水文地质的工作内容，必须把它们和矿床地质、矿床水文地质工作有机地结合起来。对地热工作，“煤炭资源勘探规范”已有比较明确的要求，这对今后矿区地热的预测，防治和地温场的控制将提供一个较好的基础。由于在地质勘探阶段对地下热水的形成、赋存条件以及热水的分布、水量、水质有了较好的了解，这样也就有利于地下热水的综合利用及地温场控制。在有地下热水的矿区，地热水的利用是一项很有前景的工作，值得进一步加强研究。

二、防治热害的基本措施

防治矿区或矿井热害的具体措施有很多，主要的有如下几点：

(一)疏排热水,化害为利

任何一个有热害的矿区或矿井，其温场分布总是不均衡的，即有的地方温度较高，有的地方温度较低。同时，只要开拓或开采深度在地下水位以下，矿井中总是有水的，而且岩温较高的地段，其水温必然也较高；有热水的地段，其岩温必然也较高。二者的高温中心，总是相一致的。如果我们在高温中心疏排热水，并就地直接排出地表（例如用钻孔疏排），则不仅热源不致于扩散，而且周围温度较低的地下水还会向高温点汇集，而有利于热害区的缩小和温度的降低。广西合山里兰矿变是这样的。该矿北大巷北端有一股地下热水涌出，漫流于北大巷中，水温 28℃，水量达 530t/h，常年向井下空气散热，仅绕道内口至 822 主下山上口一段，放热量便达 22 万 kcal/h 左右，使矿井通风风温增加近 3℃。经用钻孔将热水直接排出地表（图 7－25）后，热水放热问题基本消除，矿井热害得以缓和。同时钻孔排出的热水已作为生活及其它用水，取得了良好的经济效益。

从防治热害的角度来看，疏排热水时，水位降得越低，地下水的降压漏斗越大，四周低温水向高温点汇集的水就越多，降温的范围与效果也就越大。如果一个矿区或矿井有两个以上的高温中心时，则应相应设置两个以上的疏排点，而每个疏排点的热水动水位都不应高于中心水仓（如有中心水仓的话）。如果有可能，还可以将矿井的排水任务主要由热水疏排点来承担，而不用中心水仓，降温的效果将会更好一些。但对于矿井污水则应另行排出，以免污染热水。

对于有特殊用途的热水（如含有特殊元素的医疗用热水），则不宜与周围汇集来的普通水混合，应在高温中心附近分别建集水池，分别用管道排出地表。对排热水的管道的表面还应涂以或包裹隔热层，以防止热量散失。这样，既能降低矿井温度、减少热害，又能有效地利用热水资源。

（二）改善通风系统，加大通风量

对于有热害的矿井；应将进风道放在低温地段，将回风道放在高温中心，并直接排出地表。使低温地段的风向高温地段流动，以降低热害区的温度，并使高温地段的温度不向低温地段扩散。广西合山里兰矿曾把进风道的热水改道导入回风道水仓，并用钻孔直接排出地表，减少了热水对矿井进风的增温作用，使 822 主下山由 1976 年风温增温 3.2℃ 至 1977 年减少到 2.1℃ ，上工作面由 1976 年的 29.7℃ 至 1977 年降至 26.5℃ （图 7－26），就是利用了这个道理。

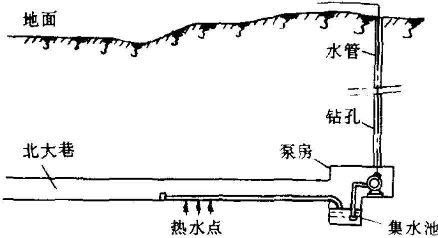
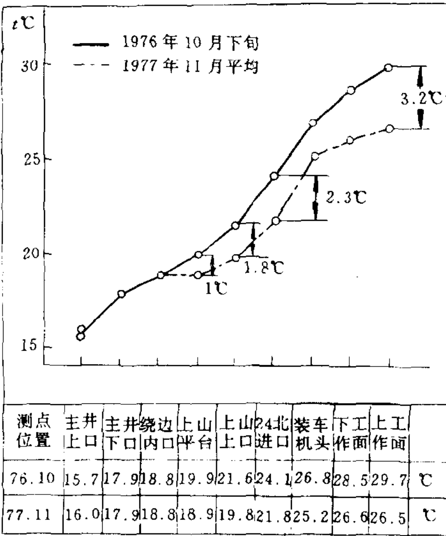


图7－25　地面钻孔排水系统示意图



测点位置	主井上口	主井下口	绕边内口	上山平台	上山上口	24北进口	装车机头	下工作面	上工作面	
76.10	15.7	17.9	18.8	19.9	21.6	24.1	26.8	28.5	29.7	℃
77.11	16.0	17.9	18.8	18.9	19.8	21.8	25.2	26.6	26.5	℃

图 7－26　治理热水的降温效果

对于有热害的矿井，还应加大通风量。必要时还应在热害区的进风口，加设制冷措施。

（三）其它措施

其它防治热害的措施还很多。例如，用隔热材料喷涂温度较高的岩壁；砌隔热墙封闭高温区；在准备巷道中向煤体打钻注入低温水以预冷煤层等等。可因地制宜地予以选用。

第八章　中国煤田水文地质条件分类

第一节　总　　论

一、中国煤田水文地质条件分类的基本原则

煤田水文地质条件分类是对不同类型煤田的水文地质条件和矿井主要充水特征进行高度的概括和归纳，是煤田水文地质学中的重要理论部分，同时，也是煤田水文地质学中的重要研究课题。其目的是为了反映不同类型的煤矿床开采受水害影响程度和防治水工作难易程度，并根据不同类型煤田的特点，指出应着重调查的主要水文地质问题，采用合理的勘探方法与手段，正确地布置勘探工程量。因此，新中国成立后，我国煤田水文地质工作者曾多次提出煤田水文地质分类原则与类型划分方案，最初的煤田水文地质分类方案是1955年煤炭工业部煤矿地质勘探总局苏联水文地质专家Л·З·克兰依耶夫提出的，他将我国的煤、油页岩矿区分为如下三种类型：

（1）具有裂隙性的坚硬岩石，在煤、油页岩的顶板之上覆盖着疏松又厚的充水的冲积层；

（2）具有裂隙性岩石的煤、油页岩矿产地；

（3）具有喀斯特性质岩石的煤、油页岩矿产地。

1958年煤炭工业部沈尔炎工程师研究了40年代到50年代苏联水文地质学家С·П·普罗霍洛夫、Д·И·谢戈列夫和И·П·克利门托夫等人对矿床水文地质类型划分的观点与方案，分析了我国许多煤和油页岩矿区水文地质特征，提出按开采方式（地下和露天）、岩性（疏松未胶结，硬、半硬石的裂隙性岩石，喀斯特性岩石）和水文地质条件复杂程度（简单、复杂、极复杂）的分类方案，划分了二组、三种和三类（表8-1，表8-2)。对每一类型的煤田提出了水文地质勘探工作量要求和应解决的主要水文地质问题，对勘探有实际指导意义。

1962年地质部、煤炭工业部共同制定的《矿区水文地质工作规范》（暂行）第一分册煤及油页岩，根据我国的自然地理、地质及水文地质等特征，将煤田水文地质划分为下列四个类型：

煤、油页岩产地按开采方法的水文地质条件分类表：

（1）充水岩层以疏松及半胶结岩层为主的煤田；

（2）充水岩层以坚硬裂隙岩层为主的煤田；

（3）充水岩层以喀斯特溶洞化岩层为主的煤田；

（4）充水岩层以坚硬裂隙或喀斯特溶洞化岩层为主，并为厚的疏松含水层覆盖的煤田。

表8-1　第一组　地下开采

水文地质分类＼岩性分种	第一种	第二种	第三种
	疏松（不胶结）岩石	硬、半硬岩的裂隙性岩石	喀斯特性岩石
第一类 简单的	煤、油页岩埋藏在地下的潜水面以上或以下，但静水位不超过矿层顶板5～10m，矿坑涌水量100m³/h，富水系数小于2	煤、油页岩埋藏在侵蚀基准面以上或以下，地下水是由含水层向矿坑涌水，矿坑涌水量100～300m³/h，富水系数小于2	煤、油页岩层埋藏在侵蚀基准面以上或略低于地下水位，矿井涌水量小于200m³/h，富水系数小于2
第二类 复杂的	煤、油页岩层的顶板之上有10～15m厚度的含水砂层或成分复杂的岩石，水压30～70m，矿井涌水量300m³/h，富水系数5～10	含煤、油页岩系的地层中含水多的砂性岩石，裂隙性岩石，地下水从含水层向矿坑中充水，涌水量300～600m³/h，富水系数2.5	地形急峻，顶板岩石含水性较强，无大溶洞，静水压力在煤层顶板以上，不超过50～70m，水文地质条件不利于地下水的补给，涌水量1000m³/h，富水系数5～10
第三类 复杂的	煤、油页岩层的顶板之上有大于15m厚度的砂层、水压超过顶板70m以上，矿井涌水量大于500m³/h，富水系数大于10	覆盖着厚度大、充水强的含水层，与地面水有水力联系，与构造带和含水层有水力联系，矿井涌水量大于500m³/h，富水系数大于5	地形急峻，主要有大的溶斗或干谷，水压力超出煤、油页岩顶板上50～70m，涌水量2000m³/h，富水系数10～30更多

表8-2　第二组　露天开采

水文地质分类＼岩性分种	第一种	第二种	第三种
	疏松岩石	硬、半硬岩的裂隙性岩石	喀斯特性岩石
第一类 简单的	与第一组第一种第一类的特征相同，这种疏松岩石是属于粘土类岩石	同于第一组第二种第一类的水文地质特征。这种岩石微密分层性弱或不分层。不受大气变化而削弱岩石物理力学性或降低帮坡岩石的稳定性	水文地质条件同于第一组第三种第一类。微弱喀斯特石灰岩、白云岩或地表没有喀斯特现象和微弱的切割现象
第二类 复杂的	主要在帮坡上有砂质与粘土质岩石的互层，露天矿区的含水层厚度为30～70m但与地面水流、水池没有水力联系	水文地质条件同于第一组第二种第二类。帮坡岩石表面受大气变化而削弱岩石物理力学性质，具有裂隙性。岩石的巨大裂隙，沿层面开裂。岩层层理、节理走向平行于露天边缘，夹有弱稳定性的岩层（页岩、粘土、凝灰岩）	大部分为喀斯特岩，在地面露头发现有大的溶洞。大气降水补给矿山的岩石，但是注入矿区的水量有一定的限制，与地面水流、水池无水力联系
第三类 极复杂的	主要是砂质或粘土质砂层、粘土和砂的互层，其中含水层厚度大于70m，与地面水流、水池有水力联系	水文地质条件同于第一组第二种第三类。在露天帮坡有大断层或大的错动裂缝。在大气影响下，使页岩、粘土页岩和疏松砂岩的岩石物理力学性质大大削弱，以致帮坡岩石极不稳定	地面上有溶洞、溶斗和干溶谷，河流、水池之下有溶洞性岩石和巨大的构造破碎带，并能发生冲溃性的大水，以及通过溶洞和断层而将露天矿淹没的可能性

每类又根据煤田水文地质条件的复杂程度划分为：

(1) 水文地质条件简单的；

(2) 水文地质条件中等的；

(3) 水文地质条件复杂的；

(4) 水文地质条件极复杂的。

由上述的分类方案可以看出，50年代煤田水文地质分类，基本上是沿袭苏联40年代矿床水文地质分类原则，以考虑地质断面岩性的因素为主，60年代转到以地质断面中对矿井充水的岩层空隙特征因素来划分，反映了我国煤田水文地质工作者通过生产实践，认识到在煤系断面上，不是所有含水岩层均能对矿井有充水影响，而且不同性质含水岩层的含水空间、富水性及其差异性、地下水运动性质均不同，则向矿井充水的潜在能力也不同，它与矿井涌水量大小与地下水作斗争方法有着密切的因果关系，对于我们的工作方法、手段的选择，投入的勘探工作量有很大的关系，从而发展了煤田水文地质分类的理论。

从70年代到80年代，煤田水文地质工作者在分析与总结大量的勘探与生产矿井实际资料而得到如下认识：

在许多情况下，一个矿井可能有几个对矿井充水有影响的含水层，但它们对矿井充水的性质和程度有差异。

矿井进水方式反映了直接充水含水层与煤层的接触关系及其埋藏条件等主要水文地质特征。它在很大程度上决定了直接充水含水层通过什么途径向矿井充水，又以什么途径获得间接充水含水层的补给。

在此期间，煤炭工业部先后二次制订与颁发的《煤炭资源地质勘探规范》将充水含水层划分直接充水含水层和间接充水含水层，区分各含水层差异，说明各含水层对矿井充水关系，明确勘探工作的重点。

直接充水含水层，是可以通过井巷或露天矿坑的大面积揭露、煤层回采后的冒裂带以及底鼓突水等途径，直接向矿井进水的含水层，是矿坑充水的内在因素，其富水性及导水能力对矿坑涌水量的大小将起主要作用，是决定煤田水文地质条件的主要因素，也是水文地质勘探的主要对象。

间接充水含水层是与直接充水含水层有水力联系，但只能通过直接充水含水层向矿井充水的含水层。它是直接充水含水层的补给水源，很大程度上决定矿坑涌水量稳定的持续时间和变化幅度。

提出按直接充水含水层的含水空间特征，把我国煤田划分为三类，即孔隙充水矿井、裂隙充水矿床和岩溶充水矿床。

提出按矿床进水方式将岩溶充水矿床分为两个亚类，顶板进水为主的岩溶充水矿床和底板进水为主的岩溶充水矿床。

每一类型又根据直接充水含水层的富水性和补给条件，并结合井田断裂构造发育程度、导水性与富水性及煤层顶底板相对隔水层的稳定性因素，将矿床水文地质条件的复杂程度划分为简单、中等、复杂三型。

这个分类方案，反映了70年代以来，煤田水文地质研究的进展，对矿井充水条件的认识较前有深化和提高。

1990 年全国矿产储量委员会制定《矿区水文地质工程地质勘探规范》，根据矿床主要充水含水层的容水空间特征，将固体矿床划分为三类：

第一类　以孔隙含水层充水为主的矿床，简称孔隙充水矿床；

第二类　以裂隙含水层充水为主的矿床，简称裂隙充水矿床；

第三类　以岩溶含水层充水为主的矿床，简称岩溶充水矿床。

岩溶充水矿床按岩溶形态划分为三亚类：

第一亚类　以溶蚀裂隙为主的岩溶充水矿床；

第二亚类　以溶洞为主的岩溶充水矿床；

第三亚类　以暗河为主的岩溶充水矿床。

各类充水矿床按矿（或层）与主要充水含水层的空间关系，充水方式分为：

直接充水的矿床；

顶板间接充水的矿床；

底板间接充水的矿床。

每类矿床根据主要矿体与当地侵蚀基准面的关系，地下水的补给条件，地表水与主要充水含水层水力联系密切程度，主要充水含水层和构造破碎带的富水性、导水性、第四系覆盖情况以及水文地质边界的复杂程度，将矿床水文地质条件的复杂程度划分为简单、中等、复杂三型。

根据各时期类型划分的原则与方案，作者认为，划分煤田水文地质类型应包含三方面内容：①煤田主要水文地质条件；②煤田充水基本特征；③勘探的难易程度、勘探方法和手段的选择以及工程布置原则。

划分煤田水文地质类型时，要求遵照下述原则：

第一、在考虑煤田地质断面岩性基础上，突出矿井充水的内在因素，即在煤层开采过程中向矿井直接充水的含水层水文地质特征；

第二、划分的类型要突出煤矿存在的主要水害问题并能概括我国煤田的水文地质问题；

第三、划分的类型能指导煤田水文地质勘探工作。类型和勘探方法与手段选择以及工程量布置间的因果关系明确；

第四、划分的类型简单实用、易于掌握、便于应用。

二、中国煤田水文地质勘探类型

按上述原则，以直接充水含水层的含水空间特征，结合煤田断面岩性特征，把煤田水文地质类型划分为四个基本类：

第一类　以孔隙含水层充水为主的煤田（简称裂隙充水煤田）。

第二类　以裂隙含水层充水为主的煤田（简称裂隙充水煤田）。

第三类　以岩溶含水层充水为主的煤田（简称岩溶充水煤田）。

第四类　巨厚松散层覆盖下以裂隙含水层充水为主或岩溶含水层充水为主的煤田（简称厚松散层覆盖下的裂隙或岩溶充水煤田）。

如前文所述，矿井进水方式反映了直接充水含水层与煤层的接触关系及其埋藏条件，对岩溶充水煤田而言，因进水方式的不同，反映了岩溶埋藏条件的不同，造成的水文地质

条件的差异更显著，从而对勘探中应查明影响矿井开采的主要水文地质问题不同，勘探方法和手段选择以及工程量布置有明显区别，同时，底板进水为主的岩溶充水煤田矿井水害最为严重。所以，按矿井进水方式。

把岩溶充水煤田又划分为两亚类：

第一亚类　顶板进水为主的岩溶充水煤田

(1) 位于地下水位以上或季节变化带内煤田。

(2) 位于地下水位以下煤田。

第二亚类　底板进水为主的岩溶充水煤田。

以上划分的煤田水文地质类型，其水文地质条件和充水特征虽然有明显差异，但是大量生产矿井实践表明，在同类（亚类）的煤田中，由于水文地质条件的复杂程度不同，使矿坑充水强度涌水量大小及变化幅度仍有较大差别，就影响煤田水文地质复杂程度的因素很多，但归纳起来主要为：

(1) 煤层与当地侵蚀基准面和地下水的关系。

(2) 直接、间接充水含水层的埋藏条件、含水空间的大小、发育程度和充填情况及分布特征。

(3) 直接、间接充水含水层的富水性及其差异情况。

(4) 直接、间接充水含水层补给条件的好坏、补给方式和途径。

(5) 断裂构造发育情况、导水性与富水性，及其与地表水体和各含水层间的水力联系。

(6) 煤层与直接充水含水层间岩层的岩性、厚度及其变化，受构造破坏情况和隔水程度。

上述这些因素不是彼此孤立存在的，而是相互依存又相互制约的，例如，富水性大小在一定程度上是决定于含水空间发育与构造破坏程度。同时，各种因素对水文地质条件的影响程度是有差别的。其中直接充水含水层的富水性表示其储水及导水能力的大小，常决定着矿井涌水量的大小，而其补给条件则是决定矿井涌水量的变化和矿井后期涌水量的大小。富水性与补给条件是主导因素，对其他各种因素的研究程度和要求起着支配作用，是决定勘探工程量多少的主要因素，为此以直接充水含水层的富水性及补给条件为主并结合煤层与当地侵蚀面的关系等其它因素，将各类（亚类）煤田又划分为三个类型。

第一型　水文地质条件简单的煤田，主要包括以下情况：

(1) 煤层位于地下水位以上或季节变化带内，以大气降水为主要充水水源。

(2) 直接充水含水层单位涌水量 $Q<0.1\mathrm{L/s\cdot m}$。

第二型　水文地质条件中等的煤田，主要包括以下情况：

(1) 直接充水含水层单位涌水量 $0.1\leqslant Q\leqslant 1.0\mathrm{L/s\cdot m}$。

(2) 间接充水含水层单位涌水量 $0.1\leqslant Q\leqslant 2.0\mathrm{L/s\cdot m}$，但补给条件不好，与地表水体联系不密切；或直接充水含水层与煤层之间的岩层较稳定，隔水性能较好，水头压力不高，断裂带导水弱。

第三型　水文地质条件复杂的煤田，主要包括以下情况：

(1) 直接充水含水层单位涌水量 $Q>2.0\mathrm{L/sm}$。

(2) 间接充水含水层单位涌水量 $1.0<Q\leqslant 2.0\mathrm{L/s\cdot m}$，但补给条件好，与地表水体联

系密切；或直接充水含水层与煤层之间的隔水岩不稳定，水头压力较高，断裂比较发育，导水性强。

第二节　以孔隙含水层充水为主的煤田

本类型煤田以孔隙含水层充水为主，分布于辽、吉、黑东部、内蒙中部、冀北、鲁东、滇、桂南、粤西南及西藏、台湾等省区。主要是产于第三系疏松、半胶结岩层中的褐煤田还包括以孔隙含水层充水为主的个别侏罗纪煤田。

孔隙水主要来自含煤地层内煤层顶板以上疏松、半胶结或未胶结的粉砂岩、细一粗砂岩、含砾砂岩、砂砾岩、泥质砂岩、粉砂层、细一中砂层和第四系松散砂砾层。含煤地层内各含水砂层或砂岩成层相间分布，层间水力联系很弱，含水层补给与排泄条件差，直接充水含水层一般为承压弱孔隙含水层，大部分矿井涌水量不大，一般来讲，煤田水文地质条件简单一中等。但是，由于煤层赋存浅，当开采塌陷导水裂隙达到地表，导致大气降水、地表迳流、地表水体及煤层上覆第四系松散含水层的地下水通过塌陷裂隙进入矿坑或基底突水成为矿坑充水主要因素时，则水文地质条件变得复杂，例如云南下第三系上新统昭通褐煤盆地。露天开采时，当含煤地层上覆第四系松散砂砾含水层是露天矿主要的直接充水含水层时，则矿井涌水量大，例如元宝山煤田元宝山露天矿、扎赉诺尔煤田灵泉露天矿等。

可采煤层顶底板岩性多为泥岩、砂质泥岩、粘土质粉砂岩或炭质粘土、粘土、砂质粘土等，在矿床开采中、侧压、顶压大，巷道难于维护，顶板难于管理、甚至发生巷道变形、底鼓、涌水、涌砂等不良的工程地质现象。现分区叙述如下：

一、下第三系以孔隙含水层充水为主的褐煤田

（一）东北、华北区

区内下第三系古一渐新统以孔隙含水层充水为主的褐煤田。主要包括：黑龙江东部的依兰、吉林的舒兰、梅河，辽宁的抚顺、沈北，山东的黄县矿区。

主要含煤地层为下第三系古一渐新统达连河组、舒兰组、梅河组。

矿区主要分布于河谷平原、冲积平原、丘陵及滨海平原区，区内地形较缓，地势平坦，河流流过煤田边缘以外，在煤田内分布有季节性河流，年平均降雨量 700～800mm，多降于 6、7、8、9 月内。大部分煤田为全隐蔽煤田，煤层赋存于当地侵蚀基准面以下，构造形态多以地堑形为主，两侧或一侧有较大断裂发育。

其水文地质基本特征为：

（1）含煤地层上覆有一定厚度的松散砂砾石孔隙含水层，含水较丰富，其单位涌水量 $q>0.01\sim<2L/s\cdot m$ ，渗透系数 $K>0.1\sim<100m/d$，水质类型为 HCO_3—$Ca\cdot Mg$ 型，矿化度＜$0.5g/L$，主要补给来源为大气降水，该层含水层在浅层露天开采时，为矿坑直接充水水源，则矿井涌水量和降水量关系极为密切，如梅河褐煤田达连珂露天，一般为间接充水水源。含煤地层下伏为白垩系泥岩、砂岩及砂砾岩，少数为凝灰岩或玄武岩，盆地基底为前震旦系古老变质岩系，均属微弱承压裂隙含水层，对矿井充水无影响。

（2）含煤段以上第三系孔隙裂隙含水层，岩性主要为泥灰岩、细砂岩和砂砾岩（泥质

胶结、结构松散），含水性弱，单位涌水量 q 0.055～0.118L/s·m，渗透系数 K>0.05～<0.5m/d，水质类型为 HCO_3—Ca—Mg，SO_4—HCO_3—Ca—Mg 型，矿化度<0.5g/L，由于与第四系砂砾层直接接触，有水力联系。

(3) 含煤段主要由泥岩、砂岩及煤层组成，其含水层岩性为不同粒度砂岩、泥质胶结，一般呈半胶结—半坚硬状，厚度小，单位涌水量 q>0.01～<0.3L/s·m，渗透系数 K>0.01～<2m/d，水质类型为 HCO_3—Ca·Mg、HCO_3—Na 型，矿化度<0.5g/L。断层破碎带一般为泥质、碎屑物充填，导水性与含水性十分微弱，井下或露天坑内揭露断层时，无充水或少量出水现象，含煤地层直接充水含水层地下水补给来源不足，径流排泄条件较差。

(4) 露天矿坑涌水量一般比矿井涌水量大，主要为第四系砂砾石含水层出水，矿坑涌水量和降水量关系极为密切。

(5) 矿井涌水量大水和第四系砂砾石含水层的含水性、补给条件及其与第三系含水岩层水力联系程度有关，当煤层上覆第三系岩层接受第四系地下水补给条件好，则矿井涌水量较大，反之，则小，并随着开采延深，疏干漏斗的逐渐扩展，涌水量有变小趋势。煤田水文地质条件中等。

(6) 含煤段岩层为疏松半胶结或半胶结和半坚硬岩层，在开采煤层时，存在着巷通变形、底鼓、涌水涌砂和露天边坡滑动等不良工程地质问题，工程地质条件复杂。现以抚顺煤田、舒兰煤田为例，说明本区下第三系孔隙充水煤田的水文地质特征。

现举例介绍如下：

例 1　抚顺煤田

抚顺煤田位于辽宁省抚顺市南郊，面积 24km²，含煤地层为下第三系古一渐新统抚顺群，分布在浑河河谷平原下被断层切割的带状向斜构造中，向斜两翼不对称，北陡南缓，上覆第四系厚度一般 15～30m，不整合于白垩系凝灰质碎屑岩、砂岩及砂质泥岩地层之上，褐煤盆地基底为古老花岗片麻岩为主（图 8-1）。

浑河位于煤田之北部边缘，由东向西流，与辽河汇合入海，长年流水，枯水期流量较少，但大雨后，则水位急剧上涨，最大流量为 91.4m³/d（1950 年）。煤田区内分布有四个含水层，从上至下有（图 8-2）：

(1) 第四系砂砾石强含水层　全区分布，覆盖在含煤地层之上，厚度 10～20m，下部为卵石、流砂，有时可见漂石，中部为粗至细砂，上部为亚粘土及亚砂土，地下水局部呈承压状态，含水性较强，在北老虎台井田，钻孔单位涌水量 q 4.11～0.841L/s·m。渗透系数 K 92.8～10.27m/d，该层以大气降水及水雪熔解为主要补给来源，水质类型为 HCO_3—Ca·Mg型，为露天矿直接充水含水层，该层地下水在露头处通过玄武岩、凝灰岩裂隙渗水井下。

(2) 下第三系泥灰岩含水层　位于上含煤段（主采煤层）上部，为微绿灰色石灰质泥岩及微绿色石灰岩互层，节理、裂隙较发育，含水性弱，在北老虎台井田钻孔单位涌水量 q 0.07L/s·m，渗透系数 K 0.065m/d，该层地下水主要来自上覆第四纪砂、砾石含水层潜水沿裂隙垂直渗透补给。

(3) 下第三纪凝灰岩弱含水层　为主采煤层底板含水层，厚度 7～135m，变化较大，岩性主要是灰绿色及灰白色的火山灰及火山碎屑物碎块，在干燥状态下坚硬，吸水性强，

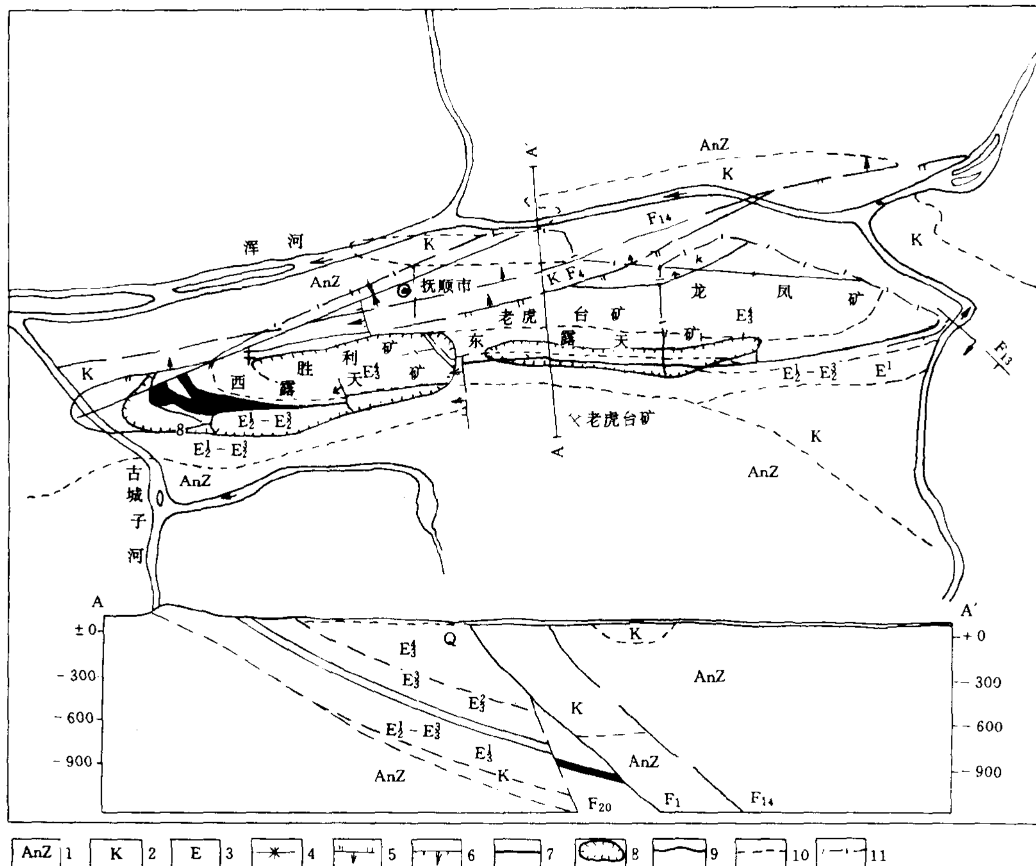


图8－1　抚顺煤田地质示意图

（据一〇一队）

1－前震旦系；2－白垩系；3－下第三系；4－向斜轴；5－逆断层；6－正断层；7－煤；8－露天坑界；9－不整合界线；10－地层界线；11－矿区界线

遇水膨胀变软，其孔隙率可达 30%，在浅部含水性较强，至深部逐渐变弱，钻孔单位涌水量 q 0.516～0.0000015L/s·m **，渗透系数** K 1.178～0.0228m/d **，该层在浅部直接接受大气降水补给和第四系含水层渗透补给，为影响露天矿边坡滑落的主要软弱层。**

（4）**白垩系砂砾岩弱含水层　火岩性主要为花岗片麻岩、石英及玄武岩的角砾所组成。据北老虎台井田钻孔单位涌水量** q 0.00247～0.00189L/s·m **渗透系数** K 0.00784～0.000462m/d **，在裸露区接受大气降水补给为主，对矿床充水无影响。**

煤田区内断层带为泥质、碎屑物充填，导水性弱，钻孔单位涌水量 q 0.00247～0.000012L/s·m**，老虎台矿井下揭露断层，含水性微弱。**

生产矿井及露天坑内水的来源主要为第四系含水层与凝灰岩含水层水。浅部矿井涌水量与大气降水关系密切，例如老虎台井 1966～1972 年年平均涌水量 843m^3/h**，雨季井下水量达** 1507.56m^3/h（图 8－3）**，煤田水文地质条件中等。**

煤层直接顶底板岩层，大部分为不稳定的岩石，由于地下水不断渗流，往往造成底鼓和滑坡。

例 2　**舒兰煤田**

舒兰煤田位于吉林省舒兰县境内，面积约 900km^2，含煤地层为下第三系始新统新安村组下含煤段和舒兰组上含煤段。煤田分布于由落差较大，倾向相反，彼此平行的两条正断层构成的地堑构造内，呈单斜构造。上覆第四系厚度一般 5～15m，不整于白垩系砂岩地层之上，海西期花岗岩出露于矿区外围构成煤系地层基底（图 8－4）。

区内有五条季节性小河流过，各有较小的独立的地表径流区，其最小流量为 2.95m^3/s。

区内与煤田水文地质条件有关的含水层有：

（1）**第四系潜水砂砾含水层　由砾石层和薄层粉砂组成，厚度 2～5m，含水丰富，钻孔单位涌水量 q 0.54L/s·m，渗透系数 K 0.6～35.28m/d，与第三系含水砂层有密切联系，该层对矿井浅部影响较大。**

（2）**第三系含水砂层层间承压含水层本区含煤地层主要为砂岩、粉砂岩和泥岩。砂岩为含水层，呈疏松半胶结、未胶结状态，即含水砂层。按其粒度特征可分为两种类型：中粗砂层以中、粗砂为主，含少量细粉砂、含水丰**

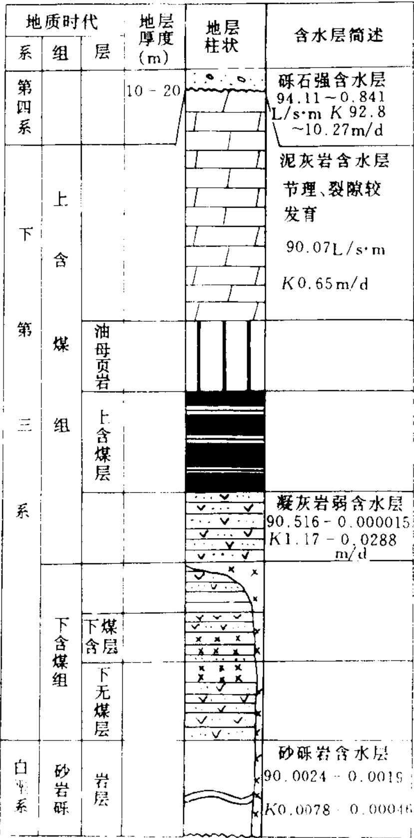
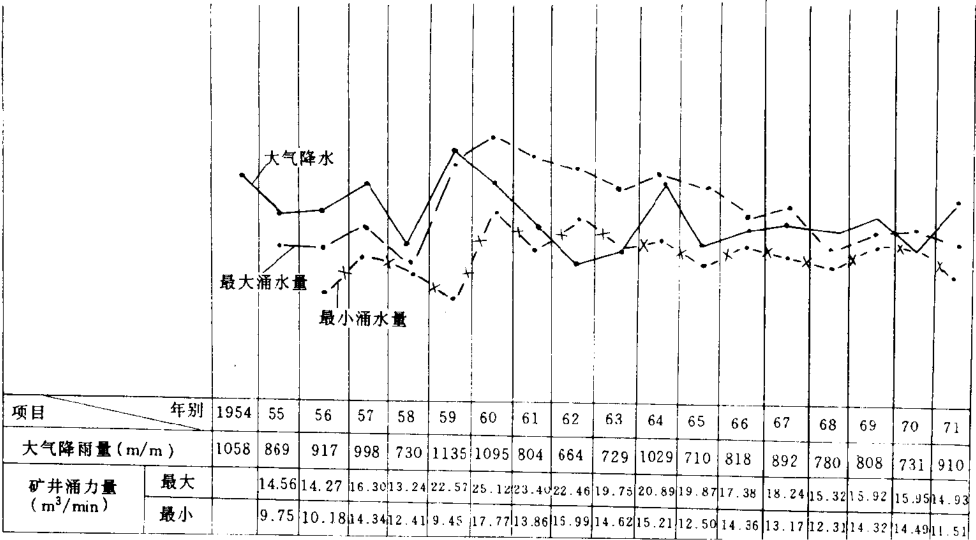


图 8－2　抚顺煤田水文柱状示意图

（据一〇一队）



项目＼年别		1954	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
大气降雨量（m/m）		1058	869	917	998	730	1135	1095	804	664	729	1029	710	818	892	780	808	731	910
矿井涌力量（m^3/min）	最大		14.56	14.27	16.30	13.24	22.57	25.12	23.40	22.46	19.75	20.89	19.87	17.38	18.24	15.32	15.92	15.95	14.93
	最小		9.75	10.18	14.34	12.41	9.45	17.77	13.86	15.99	14.62	15.21	12.50	14.36	13.17	12.31	14.32	14.49	11.51

图 8－3　矿井涌水量与大气降雨量天系曲线图

（据一〇一队）

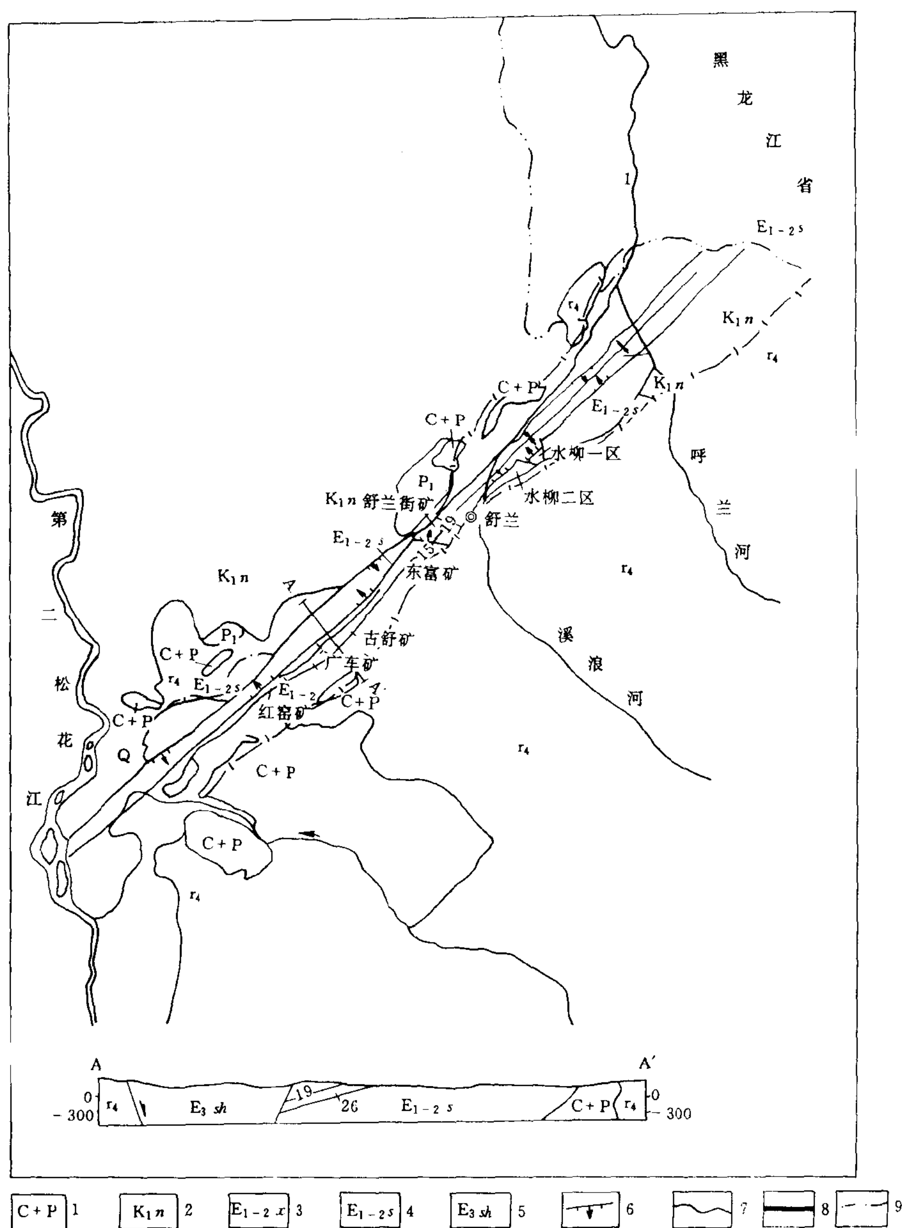


图8－4　舒兰煤田地质示意图

1－石炭二叠系；2－下白垩系；3－下第三系古－始新统新安组；4－舒兰组；5－水曲柳组；6－正断层；7－地层界线；8－煤；9－矿界

富，渗透性好，易于疏干；细粉砂层以粉砂为主，含少量细砂及泥质，透水性差，较难疏干。主要含煤段内有含水砂层20多层，累计厚度占含煤段厚度的50%～60%，其厚度较稳定，均位于可采煤层的直接或间接顶底板，其中有代表性三层：一是分布在1号煤层上的特厚砂层，厚度40～60m；二是分布在13号煤层底板的厚砂层，厚度8～20m，三是在8、9、19、20、26号煤层间的薄层—中厚砂层。含水砂层混合抽水试验渗透系数K 0.1～1.7m/d,

实验室试验 K 0.02～0.25m/d，各含水砂层间被泥岩类隔水层分离，层间水力联系很弱，补给条件差，是以储存量为主的含水层。

含煤地层内的泥岩、砂质泥岩是隔水层，其物理力学性质属半坚硬岩类，抗压强度 10.142～3.32MPa 抗压强度 2.35～17.5MPa，内摩擦角 ϕ30.1～21.5，凝聚力 C 3.83～0.9MPa，泥岩的粘土矿物主要成分为高岭土云母，在水中膨胀性大，具有较明显的软土和膨胀土特征。

(3) 水砂溃流是煤田水文地质条件的主要因素，下第三系含水粉细砂层给水度小（表 8－3）易流动，被揭露时，砂粒会随水一起涌出，产生水砂混合流，形成水砂溃流（即流砂），溃流强度与泥砂含量和原始水头高度及揭露形式有关，涌水中最高含砂量达 60%，使巷道围岩蚀空，影响巷道围岩的稳定性和地面建筑基础的稳定性，并沟通上部潜水或新水源使井下涌水量增大。历史上曾发生过近百次流砂溃流，其中：停产一个月以上的 18 次，较大淹井事故中与流砂有直接关系的有 15 次占 83%。

表8－3　下第三系含水粉细砂层给水度

名　称	渗透系数 K（m/d）	饱和水容度	给水度
粗砂	0.232	18.5	13.1
中砂	0.198	20.0	15.5
细砂	0.027	23.4	11.3
粉砂	0.015	29.3	11.0

（二）华南区

区内下第三系始一渐新统以孔隙含水层充水为主的褐煤田，主要分布于桂西百色、田阳、田东，桂南南宁、宁明、上恩和广东茂名等地区。主要包括：桂西的百色、桂南的南宁、明江，广东的茂名煤田。

主要含煤地层为下第三系始一渐新统油柑窝组，邕宁组、那读组、下百岗组。

区内煤田分布于小型山间盆地或丘陵地带。盆地四周为低山区，盆地内为平缓丘陵或河流冲积平原，地面水系较发育，煤田分布范围内常有地表水流流过，区内属亚热带气候、降雨量充沛，年平均降雨量 1100～2900mm，一般含煤面积不大（几十平方公里），含煤地层沉积特征是以过渡相的浮湖沉积为主，岩石组合以细碎屑岩粉砂岩、粘土岩为主含水性弱，煤层位于当地侵蚀基准面以下，上覆第四系含水层远离煤层，一般对煤层开采无影响，煤田水文地质条件简单。

其水文地质基本特征为：

(1) 可采煤层直接充水含水层岩性为细砂岩、粉砂岩及泥质砂岩，多数为泥质胶结，单层厚度薄，一般数米至十余米，层数多，含水性弱，矿井涌水量小，例如，广西百色煤田东怀矿区含煤地层上、下百岗段各不同的含水层段，单层厚度多为 0.8～3m 左右的薄层，抽水试验单位涌水量 q 值为 0.00973～0.0458L/s·m，渗透系数 K 值为 0.0134～0.443m/d（表 8－4），水质为 HCO_3—Na 和 HCO_3—Ca 型水，pH 值 7.0～7.2。南宁煤田里罗、四塘、平硐煤矿分别开采那读组下含煤段下$_6$、下$_7$、下$_4$煤层，开采深度 60～

表 8-4 百色煤田东怀一、二号井田上、下百岗段含水层抽水试验简表

孔 号	试验层段	单位涌水量 (L/s·m)	渗透系数 K (m/d)	抽水方法	试验日期 (年、月)
1302W	上部 20.12~93.41m	0.0458	0.4430	稳定流方法 (放水)	1959.7
1302W	下部 93.41~182.90m	0.0381	0.363	提 筒	1939
11132	上百岗段含水组	0.0130~0.00973	0.020~0.0164	稳定流方法 (压风机抽水)	1985.6
11132	下百岗段含水组	0.0204~0.0194	0.0112~0.0134	稳定流方法 (压风机抽水)	1985.8
13 中 3	A—D 煤层顶极直接充水含水层	0.0163~0.0158	0.0623~0.0626	稳定流方法 (压风机抽水)	1985.4
13 中 4	I 煤层顶板直接充水含水层	0.0282~0.0268	0.1065~0.1046	稳定流方法 (压风机抽水)	1985.10

(据百色煤田东怀矿区一、二井田精查地质报告)

130m，矿井涌水量为 30~50m^3/h。

(2) 直接充水含水层与泥岩、砂质泥岩及煤层等隔水层呈互层状成层相间分布，隔水层对各含水层地下水起了较好的阻隔作用，含水层补给、排泄条件差，含水层只是在浅部能获得大气降水和第四系松散层水垂直渗漏补给，深部含水层地下水的补给条件更差。

(3) 含煤地层下伏第三系古新统红色岩组，由砂岩、砂质泥岩、砂砾岩、泥岩和泥灰岩组成，这些岩石（层）富含泥质，含水性及透水性较差、为弱承压含水层。

(4) 由于含水层岩性、富水性与赋存条件的制约，煤田内断层破碎带富水性及导水性微弱，生产矿井因断层出现的透水、涌水量小，如百色煤田东笋煤矿一号井在开拓 21 号大巷时遇一断层，发现底板水自一小裂隙成小股状流入巷道。

(5) 煤层顶底板多为泥岩、砂质泥岩、粉砂岩，成岩性不好，粉砂岩易垮塌，泥岩遇水膨胀，顶板压力大，巷道易发生坍塌及底鼓。

二、上第三系以孔隙含水层充水为主的褐煤田

上第三系统以孔隙含水层充水为主的褐煤田，主要分布于桂南、桂东南的稔子平、广平、西流江、那彭、合蒲等地和海南省北部。主要包括桂东南的合蒲、钦灵煤田，海南的长坡煤田。

主要含煤地层为上第三系上新统长坡组、下村段、桥头镉段。

煤田分布于孤立零星的断陷盆地内，地形起伏不大，呈低山丘陵地貌，煤田分布范围内常有地表水流流过，区内属亚热带和海洋性热带季风岛屿气候，降雨量充沛，在海南长坡煤田年降雨量为 1429~2536mm。含煤盆地的沉积环境为内陆湖泊相，有冲积扇相、河流相、湖泊相，含煤地层富性弱，煤层位于当地侵蚀基准面以下，煤田水文地质条件简

单。

其水文地质基本特征为：

(1) 含煤段直接充水含水层岩性，广西合浦煤田为河流相粉细砂层、粗砂层、砂砾层及含砾、含泥中粗砂层，富水性中等，单位涌水量一般在 0.1～1L/s·m。广东长坡煤田以粘土、粉细砂质粘土为主夹粘土质中细一粉砂，含水性微弱，单位涌水量 0.0168～0.00064L/s·m（表 8－5）。

表 8－5　含煤段直接充水含水层抽水试验简表

褐煤盆地名称	孔　号	降深值	涌水量	单位涌水量	渗透系数
		S (m)	(L/s)	q (L/s·m)	K (m/d)
长坡	68	9.2	0.155	0.0169	
	22	12.73	0.008	0.00064	

(2) 含煤地层之上，上新统充水含水层岩性为含砾中细砂层和砂砾层，富水性中等，单位涌水量 q 0.025～1.752L/s·m （表 8－6）。

表8－6　含煤段以上上新统充水含水层抽水试验简表

褐煤盆地名称	孔　号	降深值	涌水量	单位涌水量	渗透系数
		S (m)	(L/s)	q (L/s·m)	K (m/d)
长坡	61	14.3	1.072	0.075	
	72	3.99	1.197	0.30	
	23	12.23	2.971	0.243	
	47	3.30	0.610	0.185	
	216	7.45	0.186	0.025	
	185	11.22	0.403	0.036	
	84	25.83	5.611	0.217	
	73	20.98	2.181	0.104	
	23	24.64	3.819	0.155	
	146	3.66	3.520	0.962	
合浦	6315	11.71	5.867	0.507	6.20
	64415	4.057	7.405	1.830	20.141
	6416	8.37	11.033	1.318	36.78

(3) 充水含水层地下水补给来源主要是大气降水，由于含水层、隔水层与煤层互层分布，各含水层主要在盆地边缘部分发生水力联系，不存在基底突水问题，煤田水文地质条件中等。

第三节　以裂隙含水层充水为主的煤田

本类型煤田以裂隙含水层充水为主，分布于辽、吉、黑东部、内蒙东北部、内蒙南部、宁夏、陕北、甘肃东部、青海大通河流域一带、新疆、滇东、黔西、川南、湘南、粤北、闽西南、闽中南、滇中等省区。主要是产于石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系具有裂隙性砂泥岩类碎屑岩层的各种牌号煤层的煤田。

裂隙水主要来自含煤地层的内细一中粗粒砂岩，砂砾岩。含水层的富水性主要取决于岩性（粒度、胶结成份等）、裂隙性质和发育程度，富水性及其差异均较岩溶含水层为小，但在风化带和断层两侧富水性一般较强。煤田水文地质条件一般属简单一中等。大气降水是矿井主要充水水源，浅部露头风化裂隙和老窑塌陷区为其主要充水通道，矿井涌水量主要受大气降水控制，一般 $50\sim200m^3/h$，雨季水量增大、浅部矿井暴雨后甚至出现洪峰流量，井下巷道遇有断裂带沟通其它含水层或地表水体时，矿井涌水量往往增大。有些煤田含煤地层顶底板岩层含水性微弱，浅部老窑分布甚多，当巷道沿煤层露天浅部开拓到井田边界后转向下水平开采，因矿井涌水量摆脱老窑充水的影响，涌水量不再增大，相反逐渐减小，水文地质条件愈趋简单。有些煤田煤层为含水性强、导水性良好的裂隙含水层，构成矿井直接充水含水层，矿井涌水量在开拓初期涌水量大，以后随时间而渐减小，表现以储存量为主要特征。

一、上二叠统裂隙含水层充水为主的煤田

（一）滇东、黔西、川南区

区内上二叠统裂隙含水层充水为主的煤田主要包括：滇东的恩洪、来宾、后所、庆云、圭山等矿区，黔西的六枝、盘城、水城、织金纳雍等川南的筠连矿区。

主要含煤地层为上二叠统童子岩组、龙潭组和宣威组。

矿区地处云贵高原，山高谷深，沟谷纵横，地形坡度大，相对高差大，有利于地下水与地表水排泄。区内降水量充沛，年平均降水量 1200～1400mm，日降水强度可达 134～194mm。矿井主要分布在分水岭斜坡地带，井田内一般没有大的河流和地表水体，矿井直接充水含水层富水性弱，大气降水是矿井主要充水水源，水文地质条件简单一中等。

其水文地质基本特征为：

(1) 区内与煤田水文地质条件有关的含水层组自新至老分布有上三叠统飞仙关组、永宁镇组中等岩溶裂隙含水层，上二叠统龙潭组、宣威组弱裂隙承压含水层和煤系地层以下茅口灰岩强岩溶裂隙承压含水层。

(2) 龙潭组、宣威组含煤地层极弱一弱裂隙承压含水层为矿井直接充水含水层，在恩洪、来宾、盘县和六枝矿区，其岩性主要由深灰色砂岩、粉砂岩、泥质砂岩和煤组成，钻孔单位涌水量 q 为 $0.00012\sim0.018L/s\cdot m$，渗透系数 K 为 $0.0004\sim0.20m/d$ ，水质属 HCO_3—Na，HCO_3—Ca·Mg，HCO_3—K+Na 型水（表 8－7）。在织金矿区，该含水层由碎屑岩夹薄层石灰岩组成，钻孔单位涌水量 q 一般为 $0.03\sim0.05L/s\cdot m$

(3) 龙潭组含煤地层之上覆有隔水层，在六盘水地区为下三叠统飞仙关组，织金纳雍和川南筠连矿区为下三叠统飞仙关组第一段 T_1f^1，岩性均以粉砂岩、砂质泥岩或泥岩为

表8-7　上二叠统龙潭组宣威组抽水试验成果表

矿区	井田	抽水层段	单位涌水量 q（L/s·m）	渗透系数 K（m/d）	水质类型
盘县	金竹坪	上煤组（1—2号煤）	0.078	0.20	HCO_3—Na·Ca
		中煤组（12—24号煤）	0.00013	0.011	HCO_3—Na
		下煤组（24号煤以下）	0.013	0.24	HCO_3—Na
六枝	平寨	龙潭组	0.00055～0.11	0.00073～0.085	
恩洪	清水河	中煤组	0.0030～0.0068	0.0007～0.013	HCO_3—Na HCO_3—Ca·Mg
		上煤组	0.003～0.0963	0.0004～0.12	HCO_3—Ca·Mg HCO_3—Na
水城	那罗寨	上煤组中煤组	0.0002		
来宾	二五井	上含煤段	0.0045～0.018	0.032～0.084	HCO_3—K+Na

主，间夹少量薄层泥灰岩、石灰岩。在织金矿区文家坝井田钻孔单位涌水量 $q<0.001$L/s·m，在正常情况下，对其上覆含水层能起阻水作用。当局部地段，飞仙关组第一段岩层厚度变薄，煤层回采时，冒落带和裂隙带穿过该段时，可引起飞仙关组第二段（T_1f^2）含水层向矿井进水，如川南筠连矿区维新井田（图8-5）。

（4）煤系以下、广泛分布有峨嵋山玄岩组，组成上述矿区煤系地层基底，其厚度达200～300m，除裸露和浅部风化裂隙较发育，钻孔单位涌水量 q0.081～0.039L/s·m 外，一般富水性弱，单位涌水量 $q<0.01$～0.001L/s·m（表8-8）。水质属 HCO_3—K+Na·Mg 型水，为良好的隔水层。同时，煤系地层主要可采煤层以下至峨嵋山玄武岩顶面约有40～60m间距，其岩性以碎屑岩、泥岩为主，钻孔单位涌

层段		厚度 最小-最大/平均 (m)	柱状示意图 1:5000	厚度	富水性
飞仙关组	四段	102.85-143.01/128.06			
	三段	67.83-100.01/86.42		210	弱～中等
				20～30	相对隔水层
	二段	182.47-246.52/210.47		190～180	中等
	一段	57.47-91.76/72.07		72	弱
宣威组	P_2x^2	31.54-52.20/43.25		93	弱
	P_2x^1	80.89-115.38/96.92		47	隔水层

图8-5　筠连矿区维新井田飞仙关组、宣武组富水段划分示意图

水量 $q<0.01$L/s·m，也是相对隔水层，因此有效地阻隔了茅口灰岩地下水向矿井充水。但有些地带玄武岩变薄或尖灭，煤系地层直覆于茅口灰岩之上，或因断层作用使煤系地层与茅口灰岩对口接触，则茅口灰岩地下水可能从煤层底部沿着断裂破碎带或断层对口部位向矿井充水。如织金纳雍煤田阿弓向斜北段文家坝井田南段，除北西翼 10 勘探线以北浅部和中部与玄武岩直接接触外，龙潭组直覆于茅口灰岩之上，煤组下段 30 号可采煤层与茅口灰岩间距 39.87～79.98m，其岩性以细碎屑岩、粘土岩为主，夹 5～8 层溶隙不发育的薄层硅质石灰岩，茅口灰岩地下水位标高为 1344.99～1401.51m，故 30 号煤层第一水平 1350m 以上茅口灰岩地下水对矿井开采没有影响，但遇断层使其间距缩小，有可能沿破碎带突水。

表8-8　峨嵋山组($P_2\beta$) 抽水试验成果简表

钻孔编号	涌水量 Q (L/s·m)	单位涌水量 q (L/s·m)	渗透系数 K (m/d)	试验段标高 (m)	水化学类型
235—1	0.0361	0.00036	0.00037	329.72～252.27	$HCO_3 \cdot CO_3$—K+Na
234—5	0.76	0.027	0.032	299.32～220.22	$HCO_3 \cdot CO_3$—K+Na
239—5	0.019	0.00054	0.00063	339.59～279.01	HCO_3—K+Na
242—5	0.29	0.0041	0.0066	298.69～247.64	$CO_3 \cdot HCO_3$—K+Na

矿区内断裂带以泥质充填为特征，富水性弱，勘探区和生产矿井尚未发现导水性强的和对煤层开采有透水影响的断层（表 8-9）。

表8-9　钻孔、坑道揭露断层及富水程度统计表

矿区	井田	孔号	坑　道	断层名称	单位涌水量 (L/s·m)
织金	文家坝南段	1057		F22 号与下组煤混合	0.0472
		132		F132—1 号与上组煤混合	0.0366
		2016		落差 7m 小断层	0.000428
来宾	二号井		北石门大巷在卡以头组与飞仙关组第一段掘进	见断层 17 处	涌水均较小，最大者超过 2.5L/s
六枝	平寨	13		F125 号	0.000113
		19		F131 号	0.0691—0.0706
	地宗	2032		F96 号	0.0000232

续表

矿区	井田	孔号	坑　　道	断层名称	单位涌水量 (L/s·m)
恩洪	清水沟	4个钻孔和21个坑探揭露断层			一般均干燥无水或仅有潮湿现象单位涌水量一般 <0.001
筠连	维新	239—5		F2号	0.00059
		265		F188号	0.00031
		243		F185号	0.00225
盘县	金竹坪	1924		F3012	0.0328 水位恢复历经43h，仅上升0.24m

(5) 第四系冲积层，由于分布零星，富水性不强，对矿井充水影响不大。

(6) 各矿区煤层露头良好，在露头及其附近小窑遍布，小窑或老窑积水和沟溪水对浅部或局部地段煤层开采有影响。

(7) 大气降水是矿井主要充水水源，浅部风化裂隙及坍陷裂隙为其主要通道。矿井涌水量主要受大气降水控制，在涌水量与降雨量关系曲线图上，基本上是同步升降，季节性变化明显（图8－6），在滇东恩洪矿区雨季涌水量约为旱季涌水量的2.41～11.48倍，在黔西六盘水、织金一带则为1.7～18.40倍（表8－10）。同时，生产坑道所在空间位置距地表深浅不同，降水量对矿坑涌水量的影响程度也不同，在浅部影响大和迅速，在深部的影响则较大和迟缓（表8－11）。

表8－10　恩洪矿区生产坑道涌水量统计表

矿区	矿井名称	开采煤层	开采面积 (m^2)	涌水量 (m^3/h)		雨季平均/枯季平均
				雨季平均	枯季平均	
恩洪矿区	陆东三坑4井	13、16号	26800	14.580	1.269	11.48
	陆东二坑2井	9　号	211960	24.300	3.268	7.43
	陆东煤矿1井	9、11、16号	515000	37.240	7.839	4.75
	恩洪煤矿1井	9、10号	366000	26.058	8.539	3.05
	恩洪煤矿2井	9　号	447000	30.401	12.605	2.41
	曲靖县煤矿	9　号	50000	9.987	1.458	6.85

表8－11　大气降水对不同垂深坑道涌水量影响统计表

矿区	井巷位置	井巷标高 (m)	距地表垂深 (m)	枯雨期涌水量变化幅度 (%)
来宾	桃园一井区	1940	60	86.5
	来宾三号井巷道	1950	90	38.9
	来宾二号井巷道	1780	220	18

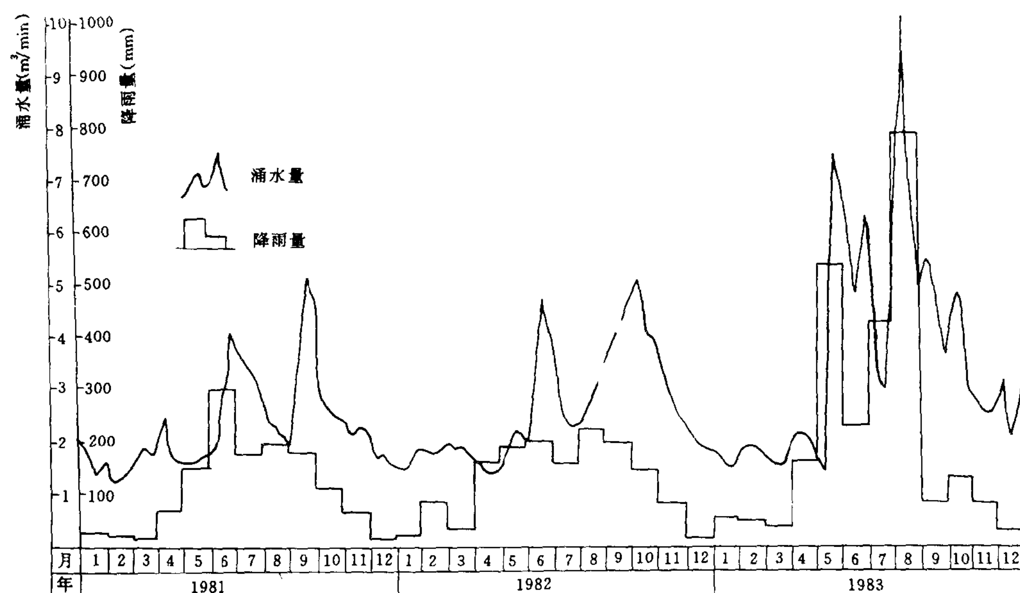


图8－6 六枝矿区 1981～1983 年涌水量与降水量关系图

（二）闽西南和闽中区

区内上二叠统裂隙含水层充水为主的煤田主要包括：龙（岩）永（定）矿区、天湖山矿区、永安加福矿区、清（流）连（城）矿区、上京矿区，面积达二千余平方公里。

主要含煤地层为晚上二叠统童子岩组。

本区地貌属侵蚀构造中、低山丘陵类型，地形复杂、山峦起伏，沟谷纵横，山峦标高 400～700m，最高 1300m，矿区蚀基基准面标高 170～430m，相对高差 500m 左右，由于沟谷切割深，坡度大，有利于降水、沟谷水和地下水的排泄。沟谷常年有水，其水量下游比上游大，是地下水排泄地表水。气候温湿多雨，年平均降水量 1600～1900mm，雨量集中（3～9 月占全年 84%）。生产矿井第一开采水平一般位于当地侵蚀基准面以上，煤系地层含水性弱，大气降水是矿井充水的主要因素，水文地质条件一般较简单，但本区地质构造复什，褶皱及断裂发育，特别是广泛发育着滑脱构造造成部分矿区某些地段，煤系与下伏栖霞灰岩接触或间距缩短，灰岩的岩溶水复杂了矿区的水文地质条件。

其煤田水文地质基本特征为：

（1）区内与煤田水文地质条件有关的含水层组自新至老分布有风化带孔隙裂隙潜水含水层，童子岩组弱裂隙承压含水层组和二叠系栖霞灰岩强岩溶裂隙含水层。

（2）上二叠统童子岩组弱裂隙承压含水层为弱直接充水含水层，一段厚度 200～300m，三段约 400m，由细砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层组成，地下水主要赋存于含构造隙裂发育的细砂岩、粉砂岩中，其连通性差，含水性不均匀，钻孔单位涌水量 q 一般 <0.1L/s·m，在构造附近，因裂隙较发育，含水性增强，例如十字山井田 1—1 号孔钻孔单位涌水量 q0.229L/s·m，渗透系数 K 1.18m/d，施工钻孔往往遇到断层发生涌水，其涌水量 q0.071～0.39L/s，水质属 HCO_3—Ca·Na 型水，矿化度一般< 0.5g/L，pH 值一般 6～8。一、三段之间为童子岩组第二段隔水岩组，平均厚度 100m，岩性以塑性的泥岩为

主，有效地隔离了一、三段地下水之间的水力联系。

（3）风化带孔隙潜水含水层，基岩风化带深度一般20～40m，富水性弱一中等，除浅部煤层露头区外，一般对煤层无直接充水影响，但它是降水渗入补给基岩地下水的通道，直接影响和控制了降水入渗补给量。

（4）二叠系栖霞灰岩是中等一强岩溶裂隙含水层，据不完全统计，钻孔单位涌水量q0.45m～5.64mL/s·m，水质属HCO_3—Ca·Mg型，在正常情况下，煤系下伏厚约300m文笔山隔水岩组，其岩性为海相泥岩、粉砂岩，灰岩水对矿井开采无充水威胁，但是因断裂作用，往往是滑脱构造作用，使栖霞灰岩岩溶水成为矿井主要充水水源，其充水方式一般有以下几种形式：

第一种　岩溶水通过煤系构造裂隙和人工破坏带，从一侧或两侧、三侧向矿坑内泄水，如永定府岭矿区（图8－7）。

第二种　受滑脱断层影响，底部隔水层局部被破坏，受底部溶水威胁，但范围不大，易于隔离处理，如龙岩市王庄矿区（图8－8）。

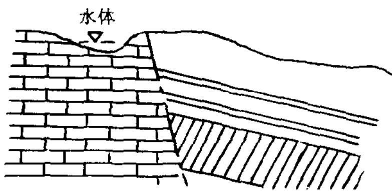


图8－7　侧向充水方式示意图

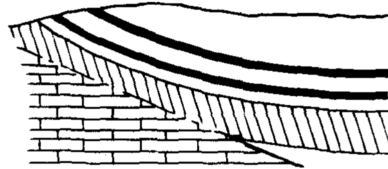


图8－8　底板充水方式示意图

第三种　受滑脱构造影响，底部隔水层被破坏，受底部岩溶水威胁，但岩溶含水层补给条件不好，易于疏排降水（图8－9）。

第四种　受滑脱构造影响，底部隔水层大部被破坏，受底部岩溶水的严重威胁，而岩溶含水层分布广，补给条件好，不易疏排降压，如龙岩市谢家邦井田与翠屏山井田（图8－10）。

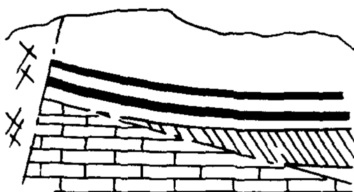


图8－9　底板充水方式示意图

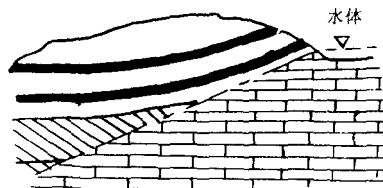


图8－10　底板充水方式示意图

（5）矿井水主要来自顶板，共充水水源与通道，一般有如下三种形式：

第一种　大气降水、裂隙水主要通过露头区的风化裂隙、构造裂隙和人工塌陷区等渗入矿井，如龙岩矿区红炭山煤矿（图8－11）。

第二种　大气降水、孔隙水主要通过露头区的风化裂隙、构造裂隙和人工塌陷区等进

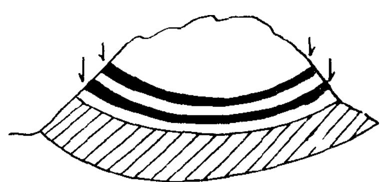


图 8－11　顶板充水方式示意图

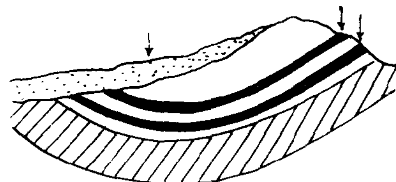


图 8－12　顶板充水方式示意图

入矿井，如大田县仙亭井田（图 8－12）

第三种　大气降水、地表水、孔隙水主要通过露头区的风化裂隙、构造裂隙和人工塌陷区等进入矿区，如府岭南井田（图 8－13）。

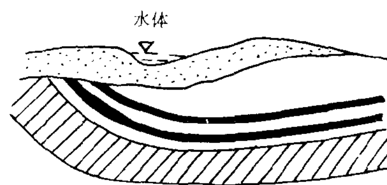


图8－13　顶板充水方式示意图

（6）矿井涌水量雨季大，旱季小，季节性的动态变化规律明显（图 8－14 、图 8－15）。

（7）区内断裂破碎带具有一定的导水性，但是由于断裂破碎带两侧的岩层富水性一般都弱，对煤层开发一般影响不大。例如，永龙煤田北山井田 F_{31} 断层，勘探期间 4—7 号、2—4 号孔遇断层后发生涌水，B14D煤硐在 210m 左右见到 F_{31} 断层，开始涌水严重，后来逐渐减少到 1.80L/s，这表明该处 F_{31} 断层带有一定的充水、导水性，但其储存量大、补给量小（图 8－16）。

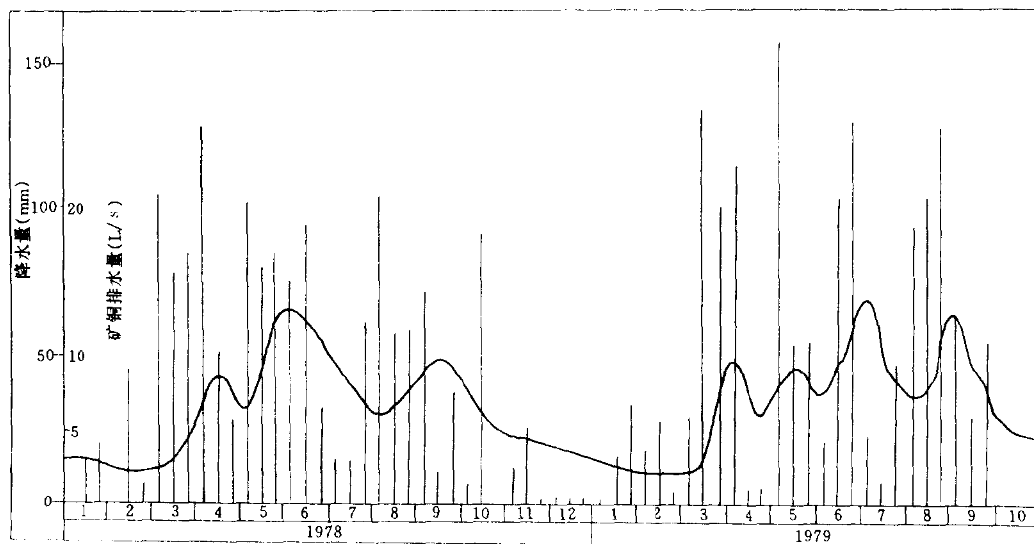


图 8－14　长塔煤矿三号硐排水量与降水量关系图

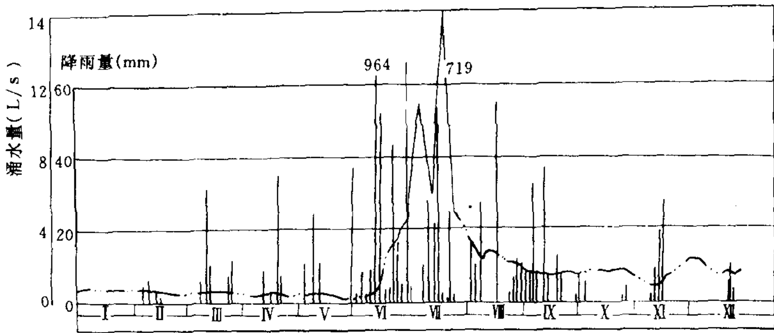
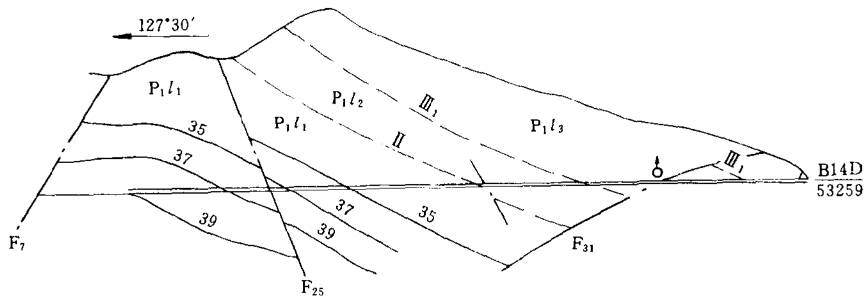


图8－15　红塔山井田红八硐坑道涌水量与降水量关系图



35号煤层底板淋水：1985年1月22日水量为0.35L/s

F_{31}断层带涌水：1985年1月22日水量为1.80L/s

硐口总涌水量：1985年1月22日为2.40L/s

图8－16　B140主巷出水点示意图

（三）湘南区

大致位于雪峰山东南，涟源以西，湘中挠摺带以南地区。区内上二叠统裂隙含水层充水为主的煤田，主要包括：涟邵煤田中段的两市塘、牛马司、洪山殿、枫江溪、保和堂、短陂桥等矿区，茶醴煤田的黄丰桥矿区，郴来煤田的白沙、永来、华塘、马田、袁家、鲁塘、梅田、街洞等矿区。在郴州以北分布着上三叠统裂隙含水层充水为主的煤田，主要是资兴矿区。在郴州、耒阳、郴县一线以东石门口。高坡、良田一带还分布着下石炭统裂隙含水层充水为主的煤矿，目前仅小煤窑开采。

主要含煤地层为上二叠统龙潭组。

区内地势南高北低，属低山丘陵地形。在郴来煤田地面标高一般为80～300m。地面水系发育、河溪、水塘、水库密布，流经煤田的主要河流为耒水与资水，其支流有西河、淝江、春陵水和羊头河等。耒水由南向北流经湘永、马田、白沙矿区，至衡阳注入湘江。资水由南往北流经枫江溪、短陂桥煤矿，至安化折向东北经益阳注入洞庭湖。在矿区局部地段因流经含煤地层，成为煤田充水的重要因素。

气候温暖湿润，雨量充沛，年平均降水量1400～1500mm，每年3～5月降雨量占全年40%，7～9月雨量较少，大气降水是地下水主要补给来源，煤系含水层富水性弱一微弱，一般对开采影响不大。主要充水因素为老窑水、基岩风化带水和大气降水，局部地区

受地表水和大隆组硅质岩裂隙水充水影响，矿井涌水量一般 $100m^3/h$ 左右，水文地质条件简单一中等。

其煤田水文地贸基本特征为：

(1) 区内与煤田水文地质条件有关的含水层组，自新至老分布有第四系孔隙潜水含水层，白垩系(K)（俗称红层）弱裂隙潜水含水层，钻孔单位涌水量 $q<0.0001\sim0.977L/s\cdot m$，下三叠统大冶组（$T_1d$）弱裂隙岩溶含水层，钻孔单位涌水量 $q<0.0001\sim0.344L/s\cdot m$ 下二叠统大隆组（P_2d）弱裂隙含水层，龙潭组上段（P_2l_2）极弱裂隙承压含水层，下二叠统（P_1q）栖霞灰岩组强岩溶裂隙含水层。其中第四系、白垩和下三叠统大冶组含水层对矿井充水无影响。煤系下伏的栖霞灰岩强岩溶含水层受龙潭组下段（P_2l_1）厚度约 200～300m，沙、泥岩类隔水岩层阻离，一般情况下对煤层开采不具有突水威胁。

(2) 龙潭组上段（P_2l_2）极弱裂隙承压含水层，由细至中粒砂岩、粉砂岩、砂质泥岩和煤组成。其厚度 70～300m，一般为 200m，主要可采煤层 2、5、6 号煤，主要含水层为 2～6 号煤间细一中粒砂岩，其总厚度约 40～60m，砂岩岩性致密坚硬，浅部风化裂隙较发育，含弱裂隙水，占孔单位涌水量 q 一般 $0.01\sim0.1L/s\cdot m$，风化裂隙带的深度一般为 50～70m，最大深度为 100m。深部节理裂隙一般不发育，钻孔单位涌水量一般 $<0.001L/s\cdot m$，水质属 HCO_3—Ca，HCO_3－Ca·Mg，HCO_3－K＋Na·Ca 型水，矿化度 $<1000mg/L$（表 8－12、图 8－17）。很多矿中巷道掘进中，巷道顶底板一般均干燥，仅有微量顶板涌水，该含水层对井下开采掘进一般不具充水影响。

表8－12 龙潭组大隆组抽水试验成果简表

矿区	井田	大隆组（P_2d）				龙潭组上段（P_2l_2）			
		风化裂隙带		深部		风化裂隙带		深部	
		抽水试验深度(m)	单位涌水量(L/s·m)	抽水试验深度(m)	单位涌水量(L/s·m)	抽水试验深度(m)	单位涌水量(L/s·m)	抽水试验深度(m)	单位涌水量(L/s·m)
白沙	坦家冲					11.37	0.171	220.0	0.001
	资家合	33.92	0.781			120.00	0.019		
	磨田			146.95	0.0007			218.97	0.003
	白山坪					25.80	0.013		
	沈家湾						0.067		0.0179
	龙塘铺							115.47	0.0001
马田	爱和山					44.59	0.005	271.58	0.00003
	破塘	54.18	0.867	126.22	0.0014	123.64	0.037	347.10	0.002
袁家	矿区比较								
	矿区南段								

(3) 区内构造复杂，断裂较多，当断层两盘接触是煤系碎屑岩层时，断裂带胶结构一

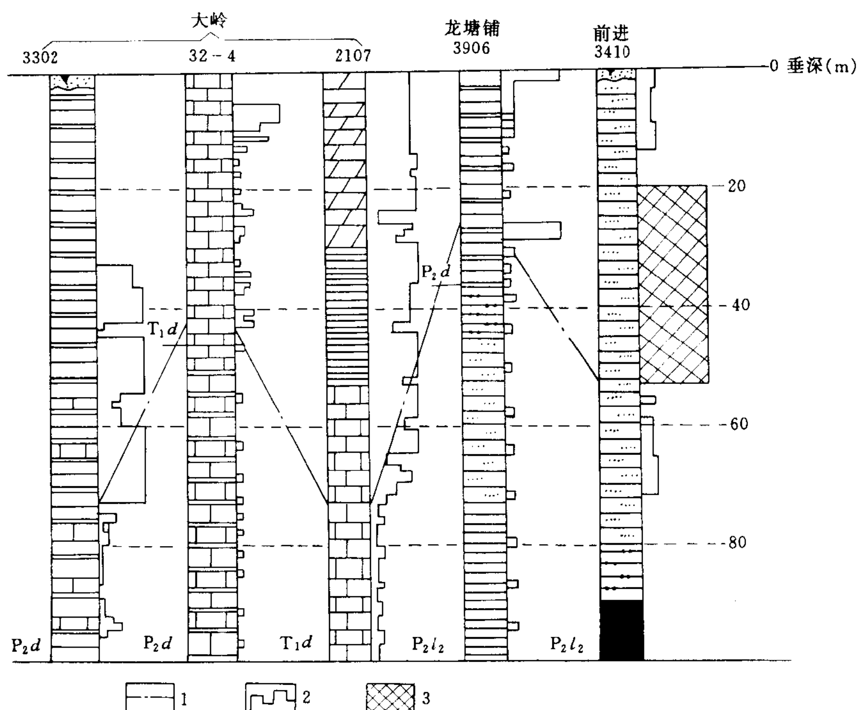


图8－17　钻孔消耗量及风化裂隙示意图(1:200)

1－风化裂隙带；2－耗水量；3－最大耗水量

般为泥质与砂质胶结的砂泥岩类角砾岩或砂质泥岩、粉砂质泥岩，钻孔遇断层时未发现有明显的漏、涌水现象，在马田矿区爱和山和白沙矿区伍家冲井田，在断层带抽水钻孔单位涌水量＜0.03L/s·m，在生产矿井中巷道遇断层未发现有突水现象，仅少量断层点有涌水和淋水现象，但断层切割了煤系基底灰岩含水层时，往往具有导水能力，如永耒向斜西翼大断层的北段，切割了栖霞组、壶天组、梓门组石灰岩含水层，在地面形成泉群，流量达203L/s·m。

(4) 老窑水和浅部风化带水是矿井主要充水水源。区内已开采的小窑和废弃的老窑遍布，一般开采垂深数十米，个别深者达百余米，老窑采空区，地表塌陷裂隙带与浅部风化裂隙带相互沟通使大气降水易于下渗补给，造成区内老窑均有不同程度积水，地表可见部分老窑有水溢出成泉，其水量随季节变化，区内矿区曾多次发生老窑突水事故，对浅部开采影响很大。如白沙矿区周家坳井田二平硐 1973 年 4 月一次老窑穿水，初见量 661.5m^3/h 总突水量 13500m^3，焦冲源煤矿 1974 年 10 月 31 日在 +140m 水平巷道遇一老窑，总突水量 4759m^3，袁家矿区马头岭煤矿在＋211m 水平以上，老窑突水时有发生，总突水量达 3400m^3。

矿井涌水量变化特点是：

一是涌水量受降水控制，涌水量高峰期都出现在每年的雨季，巷道涌水量雨季比枯季

增大 2～4倍，例如白沙矿区沈家湾矿井 1980年至 1986 年矿井涌水量长期观测，最大涌水量为 614m^3/h，一般涌水量为 110m^3/h，1984 年 5月中旬连续降雨 172.71mm，涌水量由 110m^3/h，递增到 197.10m^3/h，比正常时期增加了 87m^3/h。

一是巷道涌水量在开采初期增加较快，随着开采深度增加而逐渐减弱，涌水量与开采面积关系不大，如沈家湾井田开采到 0.935034km^2 涌水量反而减小，原因是含煤地层顶底板岩层含水性均微弱，在深部摆脱了老窑采空区和浅部风化裂隙带，不受老窑充水影响。

由此可见，湘南区上、二叠统龙潭组裂隙含水层充水为主的煤田，随着煤层埋藏深度加深水文地质条件将愈趋简单。

湘南区上三叠统裂隙含水层充水为主的煤田，含水层含水性微弱，水文地质条件简单，矿井涌水量，一般在 60～477m^3/h。

二、上三叠统裂隙含水层充水为主的煤田

(一)滇中区

区内上三叠统裂隙含水层充水为主的煤田主要有一平浪矿区。

主要含煤地层为一平浪煤系干海子组。

矿区内沟谷纵横，地形切割强烈，属强烈侵蚀高山地形，相对高差大，地表排泄条件良好，不利于地下水补给，地表水系不发育，年平均降水量约 1100mm，直接充水含水层富水性弱，补给条件差，水文地质条件简单。

煤田水文地质基本特征为：

(1) 干海资组主要含煤段弱裂隙承压含水层为直接充水含水层，平均厚度 76m，其岩性以砂质泥岩、粉砂岩及厚层状细砂岩为主，次为粗砂岩及含砾砂岩，钻孔单位涌水量 q0.0102L/s·m，渗透系数 K0.0413m/d，大气降水为其主要补给来源，其补给范围主要是在浅部裸露区和基岩风化带，沿煤层走向呈狭长条带分布。

(2) 主要含煤段上覆厚度＞400m 砂泥岩类岩层，其岩性以砂贸泥岩、泥岩为主，夹有粉砂岩、细砂岩及薄层砂砾岩，有效地隔离了大气降水对直接充水含水层地下水的补给(图 8-18)。

(3) 主要含煤段下部为碎屑岩层，其岩性由粉砂岩、砂质泥岩、粗砂岩和砾岩组成。含水性弱，钻孔涌水量 0.0063～0.01L/s。

(4) 矿井充水主要来自顶板岩层水沿层面或裂隙渗出，呈点滴状、淋水状。浅部矿井涌水量随降水量增加而增加，雨季涌水量为枯期涌水量的三倍，往深部这种关系逐渐减弱。

(二)四川盆地区

大致位于北起广元，南止东山、东起达县，南止灌县的四川盆地周围，晚三叠世裂隙含水层充水为主的煤田主要有达县、广旺和永荣矿区。

主要含煤地层为晚三叠统须家河组。

地处低山丘陵地带，属亚热带湿润气候，年平均降水量在 1000mm 以上，集中在 5～9 月占全年降水量的 70%左右，大气降水是各矿区地下水的主要补给水源，由于区内须家和含煤地层和直接充水含水层出露面积不大，不利于地下水接受大气降水的直接渗透补

层段		厚度 最小－最大/平均 (m)	厚度	岩性	富水性
舍资组	四段	71.32－225 / 194.20		以砂质泥岩、泥岩为主，夹有粉砂岩细砂岩及砂砾岩薄层	相对隔水层
	三段	31.94－81.70 / 66.00			
	二段	38.35－50.95 / 40.90	301.10		
	一段	8.10－51.05 / 26.65	26.65		弱
干海资组	四段	20.25－80.29 / 47.79		以浅灰色、深灰色砂质泥岩、泥岩为主，夹有薄层粉砂岩及砂砾岩	相对隔水层
	三段	47.81－106.38 / 87.87	135.55		
	二段	35.60－64.70 / 53.12			弱
	一段	13.04－33.20 / 22.91	76.03		

图8－18　上三叠统舍资组于海资组富水段划分示意图

给，直接充水含水层含水性弱，断层导水性弱，浅部以大气降水为主要充水水源，目前生产矿井水量一般 50～100m^3/h，水文地质条件简单一中等。

煤田水文地质基本特征：

(1) 区内与煤田水文地质条件有关的含水层自新至老分布有中上侏罗统自流井组第一段砂岩裂隙含水层，须家河组第 2、4、6 段砂岩弱裂隙承压含水层，中二叠统雷口坡裂隙岩溶含水层和煤系基底下三叠统嘉陵江组岩溶裂隙含水层。段家河组上覆与基底的岩溶含水层一般对矿井充水无影响。

(2) 须家河组（T_3）第 2、4、6 段砂岩裂隙承压含水层，为直接充水含水层，单层厚度一般 10～20m，其岩性由细一中粒砂岩、粉砂岩组成，局部地段相变为砂质泥岩或泥质粉砂岩，地下水为砂岩裂隙层间承压水，水力联系程度差，富水性弱一极弱，钻孔单位涌水量＜0.005L/s·m。含水层浅部裂隙相对较发育，深部裂隙稀少，裂隙发育程度与富水性均随深度增加而减弱，地下水交替循环变差，水质变坏，例如，永荣一井＋170m 水平和－20m 水平地下水矿化度前者 1.5g/L，后者高达 27.26g/L，对矿井延深开拓是十分有利的。须家河组（T_3）含煤地层大部分隐伏于侏罗纪地层之下，接受大气降水补给条件差。

(3) 矿井充水水源主要为大气降水，次为煤层顶板砂岩和老窑积水。开采浅部煤层

时，主要来自大气降水、地表沟溪水，矿井涌水量与降水量关系密切，据1980年5月至1982年永荣一、四矿井实测资料统计，一井枯、雨季节两极流量331～39.79m³/h，不均衡系数为7.9，差值为291.21m³/h，约占矿井最大涌水量的87%，枯季矿井涌水量小，一般占矿井最大涌水量的10%，水源主要来自直接充水含水层地下水。矿井开采深部煤层时，充水水源主要来自煤层顶板直接充水含水层水，大气降水对矿井的充水程度随着开采水平延深，其影响也愈来愈小。例如，旺苍煤矿1980年动态观测资料表明：+570m水平涌水量枯、雨期两极值相差达31.9倍，+370m水平则为7.6倍，+190m水平降低至2.5倍。

(4) 矿井充水途径，在浅部大气降水通过露头的风化裂隙带及煤层采空塌陷带裂隙直接渗入矿井或补给须家河组含水层地下水流入矿井。在深部主要为直接充水含水层通过自身的裂隙及断裂破碎带而流入矿井。

(5) 达县、永荣、广旺矿区须家河组现采水平以上矿井实际涌水量一般为22～152m³/h（表8-13）。

表8-13　达县、永荣、广旺矿区须家河组矿井涌水量编统计表

矿区	矿井名称	主采煤层名称	现采水平标高(m)	矿井涌水量 (m³/h)			备　注
				最大值	最小值	一般值	
达县	柏林矿	K24、K18等	±0	364.87	36.62	152.83	
	白腊坪矿	K13、K7	K13±0 K7+200	58.00	17.25	34.87	
	铁山南矿	21、11号等	东翼+100 西翼±0	734.08	30.37	96.37	
永荣	一井（曾家山）	泡炭高炭	-20	516.79	35.70	71.04	
	六井（四合厂）	外大龙	-100	795.79	65.08	168.37	
	七井（韦家沟）	泡炭大龙	+80	689.50	19.33	134.41	
	八井（双河一井）	泡炭双连	+150	172.00	29.58	65.00	
	九井（双河二井）	泡炭双连	-75	170.00	11.50	22.83	
	十井（双河三井）	泡炭双连	+30	100.41	15.91	28.50	
	隆昌煤矿	内山、外山	+70	232.75	40.29	85.75	
广明	宝轮院矿	蓬　炭	+200	244.08	20.95		
	旺苍矿	外七连	+190	134.00	11.33		现名为18号煤层
	唐家河矿	8　号	+350	1330.12	49.54		大气降水，河水溃入矿坑引起的最大涌水量

（据四川煤田地质局137队）

三、下、中侏罗统裂隙含水层充水为主的煤田

下、中侏罗统裂隙含水层充水为主的煤田主要包括：西北的焦坪、黄陵、彬长、榆神府、窑街、华亭、安口一新窑、红会、炭山岭一大有、阿干镇、王家山、大通、热水一默

勒、大煤沟、热平更、江仓、鱼卡、灵武、石嘴山、石炭井、汝箕沟、乌鲁木齐、艾维尔沟、他什店、伊宁、哈密、库车等矿区。华北的大同、宣化、包头、东胜、京西、京东、北票等矿区。

主要含煤地层为下一中侏罗统延安组、窑街组、大同组、下花园组、八道湾组、西山窑组、北票组、水西沟组、他什店组、木里组、江仓组。

主要矿区地处黄河中上游鄂尔多斯高原与内陆黄土高原，气候干旱缺水，属半干旱大陆性气候和内陆大陆性气候，年降水量在本区东部为 400～500mm，本区西部一般 300mm 左右，个别地区＜50mm，年蒸发量一般大于降水量 3～5 倍。区内生态环境脆弱。

区内早、中侏罗世煤田是一系列陆相聚煤盆地组成。聚煤的占地理景观是内陆湖盆、山间湖盆、山间谷地和山前盆地。组成煤系及其顶底板地层的岩性是砾岩、砂岩、泥质粉砂岩、砂质泥岩及煤层，含水岩层主要是砂砾岩、细、中粗粒砂岩，其出露范围不大，由于其岩相变化大，碎屑颗粒分选程度差，孔隙度低，渗透性不强，含水岩层分布不稳定，在水平补给上缺乏获得充分补给的条件，而且由于含水岩层和砂质泥岩、泥岩、泥质粉砂岩互层，使其失去了获得垂直补给的可能性，煤系及其顶板底板裂隙承压含水层含水性微弱，钻孔单位涌水量 q 一般＜0.1L/s·m，断层导水性一般较弱，矿井涌水量，一般＜$50m^3/h$。矿井地下水主要来源是浅部风化带淋水或涌水、老窑水和雨水渗入，局部顶板滴水或渗水或构造断裂带附近发生短时间突然涌水。某些矿区，如宁夏的灵武和陕北榆神府矿区浅部由于煤的自燃沿走向产生了烧变岩带，改变了原岩的沉积结构，形成 10～50m 的厚的破碎带、裂隙、孔洞极为发育，岩层导水性和贮水能力增强，十分有利于大气降水和地下水侧向径流补给，形成矿区浅部富水带。大部分矿区煤系基底是上三叠统延长群细粉碎屑沉积为主，含水性极弱。

本区煤田水文地质条件一般简单，矿井涌水量一般 $50\sim100m^3/h$，供水水文地质条件复杂，供水问题已成为制约着区内不少矿区煤炭生产发展的主要因素之一， 同时，煤炭资源与水资源开发将导致脆弱生态环境呈不同程度的劣化发展趋势。现以陕西榆神府煤田为例，说明本区下、中侏罗统裂隙含水导充水为主煤田的水文地质特征。

榆神府煤田位于鄂尔多斯高原的东北部及陕北黄土高原的北缘和毛乌素沙漠的东南边缘，地形西北高、东南低，区内地形高程一般在 1000m 以上，煤田北部东胜梁呈东西向展布，标高在 1400～1500m，形成南北向河流的分水岭，煤田西部及西南部为沙漠滩地区，其间湖泊、滩地、沼泽较多，地表水多流入湖泊或渗入地下，为内陆水系区，最大湖泊红碱淖，是一内流型湖泊、湖水面积 $54km^2$，湖容 $3.61\times10^8m^3$ ，平均水深 6.68m，属微咸水。矿区东部及东北部为黄土丘陵山区，煤田内不少地区为断续流动沙及半固定沙所覆盖。

流经煤田的主要河流有乌兰木伦河、窟野河、秃尾河、榆溪河均属黄河水系。

气候属半干旱大陆性气候、年降水量 305～450mm， 蒸发量是降水量的 5～7 倍。

区内地层从老新发育有上三叠统永坪组（T_3y）、中侏罗统富县组（J_2f）、延安组（J_2y）直罗组（J_2z）、安定组（J_2a），第三系上新统三趾马红土（N_2）及第四系下更新统三门组（Q_1s）、中新统离石黄土（Q_2l）、上更新统萨拉乌苏组（Q_3s）及马兰组（Q_3m）、全新统风积沙（Q_4ed）和冲积层（Q_4al）。

含煤地层为侏罗系中统延安组（J_2y），一般厚 220m，含开采煤层 5～6层最多达 8

层。

区内生态环境十分脆弱，自行调节能力差，具有原生不稳定性和脆弱性。

区内主要环境问题有土地沙漠化、水土流失、滑坡、崩塌、泥石流、水质污染及地方病等。

区内地层平缓、岩层倾角一般 3°～5°，构造简单、断层稀少，多为起伏不大的宽缓背斜、向斜（图 8－19）。

煤田水文地质基本特征：

（1）区内与矿区水文地质条件有关的含（隔）水层，自新至老有：第四系上更新统萨拉乌苏组（Q_3s）强孔隙潜水含水层、白垩系下统洛河组（K_1l）砂岩弱孔隙裂隙潜水承压含水层，中侏罗统安定组（J_2a）砂砾岩弱裂隙潜水承压水含水层，中侏罗统直罗组（J_2z）上部粉砂岩、泥岩相对隔水层，中侏罗统直罗组（J_2z）下部砂砾岩弱裂隙潜水承压水含水层，中侏罗统延安组（J_2y）含煤地层砂岩弱裂隙潜水承压含水层，中侏罗统富县组（J_1f）泥岩夹砂岩相对隔水层，下三叠统延长群（T_3y）砂射弱裂隙潜水承压水含水层（图 8－20）。

（2）中侏罗统延安组（$J_{1-2}y$）砂岩弱裂隙含水层是矿井直接充水含水层，其岩性为细、中粗砂和粗粒砂岩，和泥岩、粉砂岩及煤层互层，组成含煤地层，其厚度一般在 180～28m，最厚达 326m，其中细砂岩、中粗粒砂岩所占比例小于 20%，含水条件差，砂岩裂隙不发育，钻孔简易水文观测，冲洗液消耗量微弱，钻孔单位涌水量 q 0.00024～0.025L/s·m，渗透系数 K 0.00063～0.13m/d，水质由浅部的 HCO_3—Ca—Mg 型到深部的 Cl—SO_4—Na 型水，矿化度 0.221～4.775g/L。

（3）区内煤层露头沿走向分布有连续或不连续的烧变岩带，宽度不一，最宽达 12km，一般 1～2km，是由煤层自燃对上覆岩石造成高温熔化烘烤而形成的。根据烧变程度，由上而下可分为三个带：溶融烧变岩，紧靠煤层一般厚度 1～5m，最厚可达 13m，裂隙、孔隙、孔洞极为发育，孔洞最大直径达 10cm，孔隙直径一般为 0.6～1.0cm，最大达 2cm，裂隙率平均为 8.66%；严重烘烤带，厚度 2～10m，裂隙十分发育，裂隙宽 0.4～5.0cm，个别可达 14cm，无充填物，裂隙率达 10.45%；烘烤影响带，厚度 20～27m，层状构造未完全破坏，裂隙率平均为 7.10%。因此，烧变岩带有利于地下水的补给、运移与储存，形成富水性好，贮水量大的含水区段。烧变岩破碎带出露的沟谷处，往往有较大泉出露。如神木孙家岔一带其泉流量为 78.30～311.7m³/h，榆家梁一带其泉流量 10.83m³/h，府谷新民地区为 9～28.80m³/h。烧变岩带分布区相当于煤层浅部存在的老窑采空区，对浅部煤层开采，带来一定的危害。

（4）第四系上更新统萨拉乌苏组（Q_3s）强孔隙潜水含水层，是矿区开发主要供水水源，亦是影响区内煤层开采的最主要含水层。其岩性以粉细砂、中细砂为主，其上覆有风积沙，构成沙漠滩地，与上覆风积沙构成统一的潜水含水层，其厚度受侏罗系基岩顶面古地形控制，沉积中心为古沟槽地带（图 8－21）。沉积厚度大，厚度一般 20～70m。在地形上形成多个独立小盆地，周边为弱富水的侏罗系基岩或黄土丘包构成的分水岭，形成地表、地下水分水岭一致的隔水边界，各自具有独立的补、径、排系统，为一完整的泉域，分布在中、下侏罗统含煤地层之上，砂层地下水接受大气降水和凝结水补结，由四周向沉

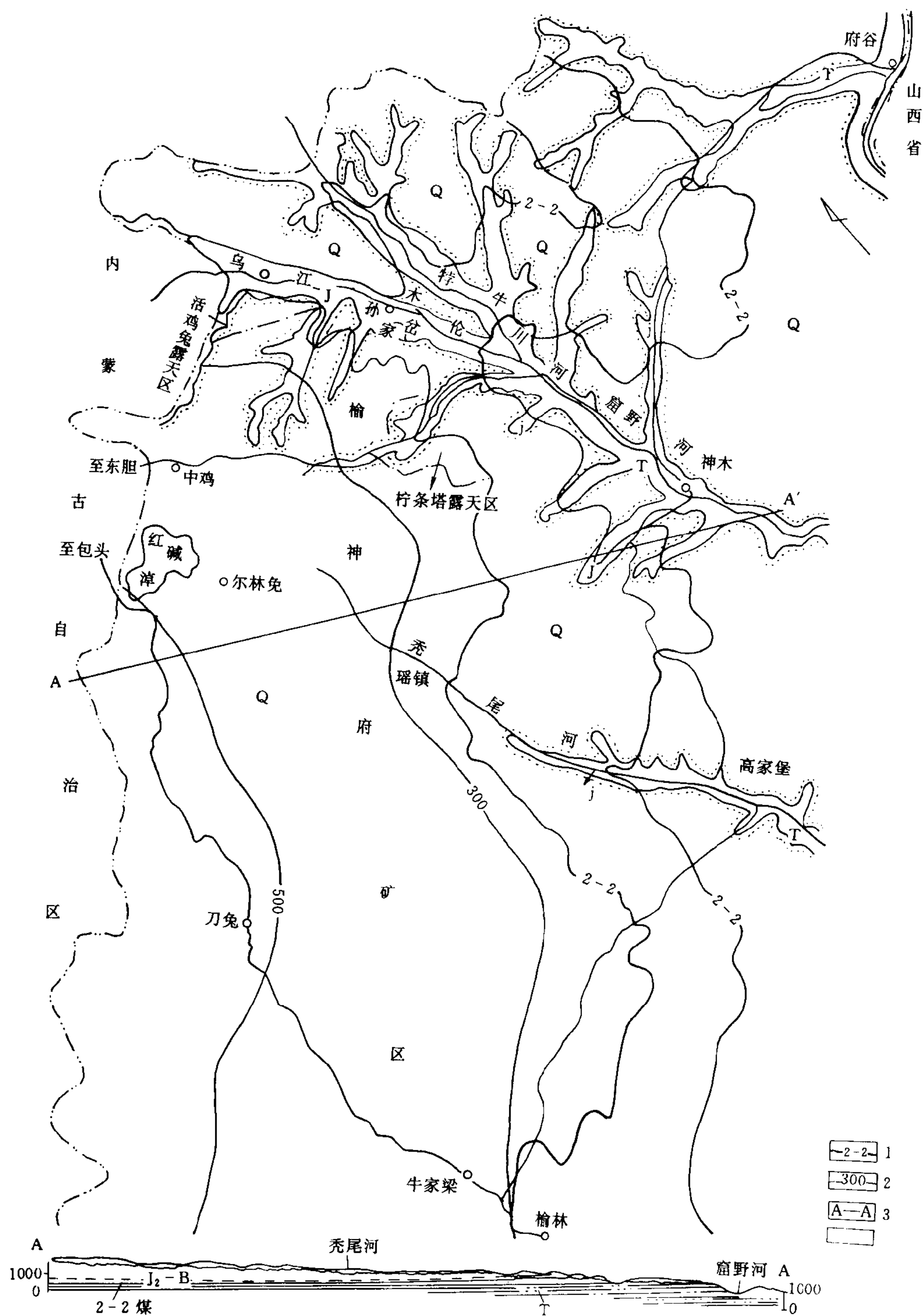


图8-19 榆神府矿区地质示意图

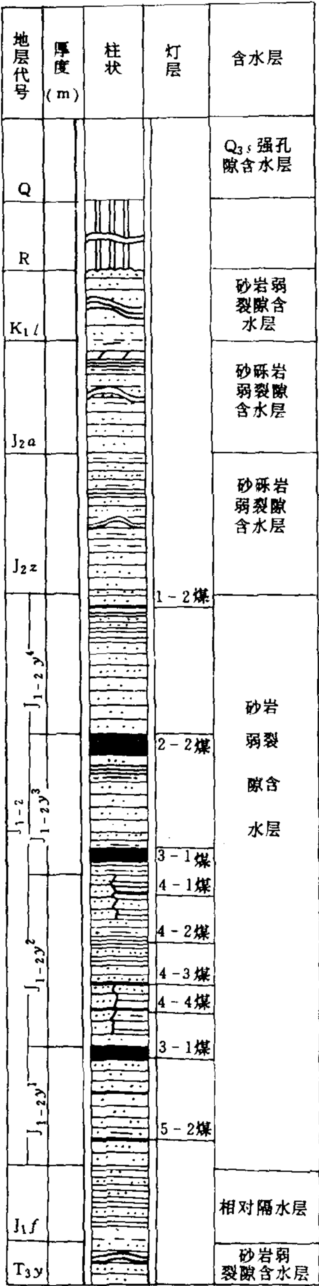


图 8-20 榆神府矿区水文地质柱状示意图

积中心运移，在低洼处以泉形式排泄，该含水层富水性好，单井出水量一般 1000～2000m³/d，泉水流量稳定，天然资源量丰富，例如神木矿区已在石圪台矿至大柳塔矿范围内，分布着 5 个萨拉乌苏组含水层泉城，泉总流量为 1.141m³/s（表 8-14）。是矿区临时或永久供水源地。

萨拉乌苏组含水层与侏罗系含煤地层间没有粘土隔水层，随着煤层回采，顶板冒落带和裂隙带高度超过开采煤层顶板以上基岩厚度时，必然产生顶板抽冒、地面坍陷，导致萨拉乌苏组含水层向矿井充水和涌砂，并对水源地产生不同程度破坏。如石圪台瓷窑湾矿，煤层顶板基岩厚 30 余米，其上为饮马泉泉域，主要含水层为萨拉乌苏组，1990 年 8 月在巷道掘进时突然涌水，随后顶板塌落，地面塌陷，地表形成直径约 30m，深 10 余米的塌陷漏斗。

本区煤田水文地质工作需专题研究的一个课题是如何达到尽量多地开发煤炭资源，而又尽量好地保护萨拉乌苏组含水层地下水资源，以解决矿区需水的要求，并尽可能减低原已脆弱生态环境进一步劣化。

四、上侏罗统裂隙含水层充水为主的煤田

（一）黑龙江省东部地区

区内上侏罗统裂隙含水层充水为主的煤田主要包括：鸡西、勃利、双鸭山、鹤岗等矿区。

主要含煤地层为上侏罗统滴道组、城子河组、穆陵组、北大岭组、石头河组、石头庙组。

矿区地处三江平原区，地表水系发育，乌苏里江支流穆陵河、黄泥河、大石头河、二道河、倭肯河、七星河和松花江支流倭肯河、偏食河、中心河、梧桐河、鹤立河等流经矿区，上述河流均为常年性河流。

区内地势比较平缓，一般沿河流两侧形成狭长带状冲积平原或山间河谷平原，其边缘为丘陵斜坡和低山丘陵。煤系一般分布在丘陵斜坡地带或平原区。煤系基底为中一下元古界麻山群变质岩系被元古代晚期花岗岩侵入贯穿，分布于煤田边缘组成低山丘陵地形。气候属大陆性气候，年平均降雨量 400～600mm，多集中于 7～9 月，占 60％以上。含煤地层裂隙富水性弱一中等，构造裂隙含水带是矿井水的主要通道，水文地质条件简单一中等。

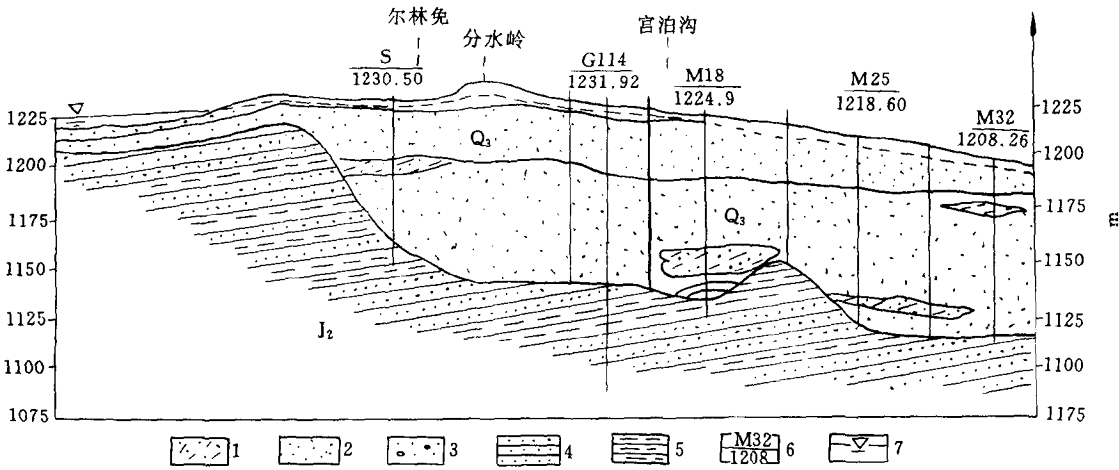


图 8-21　萨拉乌苏组在宫泊沟古沟槽含水层厚度变化剖面图

1-亚砂土；2-粉细砂或中细砂；3-砂砾石；4-砂岩；5-泥岩或砂质泥岩；6-钻孔编号/标高；7-地下水位

煤田水文地质基本特征：

(1) 区内与煤田水文地质条件有关的含水层自新至老分布有第四系孔隙含水层、第三系孔隙裂隙含水层，晚白垩统砾岩含水层和晚侏罗统含煤地层裂隙含水层。第三系与晚白恶统含水层距含煤组地层远，一般对矿井充水无影响，但在局部范围，因第三系底部砾岩含水层直接不整合覆盖在煤层上构成直接充水含水层。如鸡西荣华井田第三系底砾岩，平均厚 57.30m，钻孔单位涌水量 0.235～1.852L/s·m ，水头压力达 24～65 个大气压，覆盖在城子河组含煤地层之上，煤层与含水层间无大面积较稳定的隔水岩层，使水文地质条件复杂化。

(2) 上侏罗统含煤地层裂隙含水层是矿井直接充水含水层，其岩性以灰白色细一中一粗粒砂岩为主，夹粉砂岩、泥岩组成。富水性在平面上分布不均匀，在相同深度岩石渗透性能相差 20～46 倍（表 8-15）。

表 8-14　大柳塔水源地一览表

泉域名称	面积 (km^2)	泉水平均流量 (m^3/s)	天然资源量 ($10^4m^3/d$)	储存量 (万 t)	可开采量 ($10^4m^3/d$)	备　注
哈拉沟	28.7	0.151	1.63	2347.5	1.16	
考考赖沟	96.35	0.611	5.32	14307.75	3.74	包括石圪台泉域
柳根沟	25	0.086	1.07	1620.6	0.5	
双　沟	15.38	0.085	0.74	558.2	0.28	
补连沟	50	0.208	1.99	2340	0.69	

《能源基地晋、陕、蒙接壤地区地下水资源评价合理开发利用》项目研究报告资料

表 8－15　相同深度含水层渗透性能变化简表

矿区 \ 项目	强裂隙含水带最大渗透系数 (m/d)	强裂隙含水带最小渗透系数 (m/d)	相差倍数
鸡　西	17.05	0.53	32
双鸭山	14.70	0.32	46
勃　利	7.80	0.35	22
鹤　岗	3.73	0.187	20

（据黑龙江省煤田地质公司王庆良资料）

在垂直方向富水性具有随深度的增加而减弱的垂直分带规律，并可划分为三个含水带：

风化裂隙含水带　发育深度＜100m，**钻孔单位涌水量** q＞0.1L/s·m。

亚风化裂隙含水带　发育深度 100～200m，**钻孔单位涌水量** q＜0.1L/s·m。

弱裂隙含水带　发育深度＞200m，**钻孔单位涌水量** q＜0.01L/s·m （**表** 8－16）。

表 8－16　晚侏罗统含煤地层富水性简表

矿　区	井　田	风化裂隙含水带		亚风化裂隙含水带		弱裂隙带	
		q (L/m·s)	K (m/d)	q (L/m·s)	K (m/d)	q (L/m·s)	K (m/d)
勃　利	铢　东	0.892	1.583				
	东方红	0.180～0.780	0.42～1.655	0.149～0.202	0.272～0.389		
双鸭山	向　阳	3.128	10.68	0.089	0.0624	0.0096	0.00576
鸡　西	东　保	0.137		0.0645			
	荣华－平陌			0.0319～0.0005	0.136～0.0012		
鹤　岗		0.072～1.20	0.201～1.994				

（据煤田地质精查报告资料）

但是，因受构造与岩性控制也有特殊情况，例如双鸭山东保卫井田水$_1$ **孔，深度在** 132m **以上抽水，风化和亚风带裂隙含水带，钻孔单位涌水量** q0.137～0.0645L/s·m **,而抽水深度达到** 524.40m，**在弱裂隙含水带钻孔单位涌水量** q **值未减弱，因在该层抽水段中中粗砂岩比例占** 50％～80％ **,本含水层水质属** HCO_3—K＋Na，HCO_3—Ca，HCO_3—Ca·Na **型水,矿化度**＜0.3g/L。

(3) 第四系孔隙潜水含水层分布在河谷冲积平原内呈狭长条带状分布，宽度一般1000～3000m，最宽处仅100～400m，其岩性为中粗砂含砾、砾砂及砂印石，厚度变化大，富水性强，因泥质含量差异和分布地段不同，其变化较大，钻孔单位涌水量一般>1L/s·m（表8－17）。地下水位埋藏浅，一般<2m，水质一般属 HCO_3—Ca·Mg 型水。本含水层主要接受大气降水补给，在局部地段与含煤组地层浅部直接不整合接触可能形成矿井直接充水含水层，其它地段只能成为间接充水含水层，主要是第四系含水层以下，由于风化裂隙含水带的顶部强风化裂隙及第四系沉积充填等原因，形成一层相对隔水层。同时双鸭山矿区宝山矿资料反映了第四系含水层水位和基岩水位有个差值，同时，受排水疏干影响，基岩水位下降幅度大于砂层水位下降幅度（表8－18、表8－19）。

表8－17 第四系孔隙含水层富水性简表

矿区	厚度（m）	富水性	
		单位涌水量（L/s·m）	渗透系数（m/d）
鹤岗	10～30	0.10～3.94	1.50～36.20
勃利	4～12	0.32～1.98	14.3～38.60
鸡西	2～20	0.37～5.28	12.41～32.12
双鸭山	40～50	0.22～8.14	1.00～33.36

（据煤田地质精查报告资料）

表8－18 第四系砂层与基岩水位下降幅度观测简表

项目＼孔号	74～10	73～11	74～12	74～15
砂层水位（m）	4.45	8.87	11.10	10.15
基岩水位（m）	8.93	12.44	21.15	21.99
差值（m）	3.48	3.57	10.75	11.80
观测日期	1974.11.20	1973.7.24	1976.12.10	1976.12.10

表8－19 第四系砂层与基岩水位下降幅度观测简表

项目＼孔号	74～12		74～15	
观测时间	砂层水位（m）	基岩水位（m）	砂层水位（m）	基岩水位（m）
1975.5.26	5.43	11.76	4.51	11.86
1975.9.25	12.26	23.76	12.26	24.24
下降幅度（m）	－6.78	－11.6	－7.75	－12.38

(4) 构造裂隙含水带是矿井的通道，决定着涌水量的大小变化。区内构造复杂，构造裂隙含水带都发育在背、间斜核部或构造断裂带两侧，钻孔通过断裂带往往会遇到涌水和泥浆消耗量增加，其富水性与断层两侧岩性关系较明显，例如勃利矿区东方红勘探区钻孔见断层在亚风化带以下漏水均在粗、中砂岩或砾岩中，在井下通过断裂带常发生涌水现象，例如双鸭山矿务四方台矿老一井在井筒掘进过程中于垂深 27m，离 2 号断层 10m 左右突水，涌水量由 $105m^3/h$ 猛增至 $400m^3/h$，在鸡西矿区小恒山矿、恒山矿和穆陵矿均发生深部构造带涌水，涌水量 $60\sim100m^3/h$，涌水时间较长达半年以上。

(5) 本区地下水来源，在河谷区内主要接受地表水补给，在丘陵斜坡与低山丘陵区接受大气降水补给。

(6) 地表水体往往是矿井充水的主要补给水源。若矿井处于较大河谷中，有较大的河流及较厚第四系砂砾含水层的补给，则矿井涌水量也较大，水文地质条件就趋向复杂。例如，鹤岗矿区兴安矿处于小鹤立河谷，矿井涌水量达 $700\sim1000m^3/h$（表 8-20）。勃利矿区大部分矿井都位于丘陵顶部区和丘陵斜坡区，矿井涌水量不大，一般 $1\sim10m^3/h$。

表 8-20　鹤岗生产矿井涌水量资料简表

矿　名	矿井涌水量 (m^3/h)	含水系数 (m^3/t)	开采水平 (m)	矿井位置
兴安矿	700～1000	5～8	+90	大部分处于小鹤立河谷
富力矿	200～300	2～4		局部处于小鹤立河谷
南山矿	200～300	1～3		大部处于丘陵
新一矿	150～250	0.9～2.8	+150	大部处于丘陵
兴山矿	150～300	3～6	±0	局部处于小石头河谷
东山矿	80～200	0.8～2.5	+125	大部处于丘陵
岭北矿	100～250	1～3	+80	大部处于丘陵

（据有关煤田地质精查报告资料）

(二)内蒙东北方

区内上侏罗统裂隙含水层充水为主的煤田主要包括：大雁、陈旗、伊敏和扎赉诺尔等矿区。

主要含煤地层为上侏罗统大磨拐图河组、伊敏组、扎赉诺尔群。

矿区分布在大兴安岭西坡，海拉尔盆地内（图 8-22），属呼伦贝尔高原，地势东高西低，东部大雁、伊敏矿区海拔标高一般 +670～+650m，西部扎赉诺尔矿区为 +550m，地势虽高，地形平坦，为海拉尔平原区，主要河流为海拉尔河，属黑龙江水系，其支流为伊敏河等，呼伦河与贝尔湖为区内最大湖泊。

本区为高寒地区，属典型的大陆性气候，降水量小，蒸发量大，多年平均降水量为 320～340mm，降水量集中在六、七、八月份，年蒸发量 1200～1500mm，为降水量的 4～

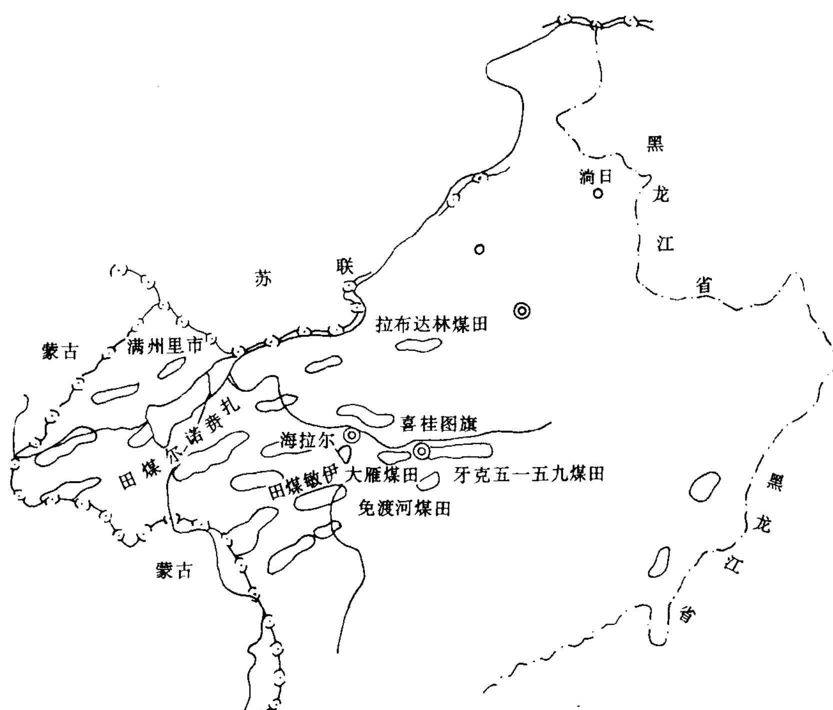


图8－22 大兴安岭西坡海拉尔盆地内煤田分布示意图

6倍，煤层为直接充水含水层，含水性强，补给条件差，矿井涌水量以消耗储存量为主，水文地质条件简单一中等。

煤田水文地质基本特征：

（1）区内与煤田水文地质条件有关的含水层自新至老分布有第四系冲积孔隙含水层，上侏罗统含煤地层裂隙含水层。煤系基底以火山岩为主并含有碎屑岩，岩性微密，裂隙不发育，含水甚微。

（2）上侏罗统含煤地层裂隙含水层是矿井直接充水含水层，其水文地质特征与一般煤田水文地质特征不同，其突出的特点是：煤层含水，为裂隙发育、含水性、导水性好的裂隙含水层，尤其是风化带裂隙十分发育，但其顶底板岩层富水性差，往往为弱含水层，甚至是隔水层，例如，大雁矿区一区四井的风井，垂深58m处见到0.5m宽的大裂隙，在道北二矿一井一路垂深42m处也见到0.5～0.2m宽的大裂隙，在一斜井左一路巷道内发现5m煤层充水裂隙宽度达0.3～0.8m，导水性很强。伊敏矿区钻孔抽水资料，煤层的钻孔单位涌水量 q2.943～28.516L/s·m，煤层顶底板含水层钻孔单位涌水量 q0.0013～4.06L/s·m（表8－21)。扎赉诺尔矿区灵泉露天矿钻孔抽水资料，煤层的钻孔单位涌水量 q1.596L/s·m，煤层顶底板含水层钻孔单位涌水量 q0.025～0.5L/s·m（表8－22)。

（3）含煤地层煤岩层的富水性具由浅到深逐渐变小的垂直分带的特点（表8－23)，矿井涌水量以风化裂隙带深度内为最大，例如大雁矿区二矿一井涌水量与开采深度有如下

表8-21 伊敏一、二、南露天抽水试验简表

矿井名称	含水层名称	富水性				水质类型	矿化度 (g/L)
		单位涌水量 q (L/s·m)	导水系数 T (m^2/d)	渗透系数 K (m/d)	储水系数 S		
南露天	26号煤层顶板中粗砂岩	4.061	1508.65	36.753	1.44×10^{-3}	$HCO_3\cdot SO_4$—Na·Ca	0.9
	26号煤层	28.576	4887.03	128.11	1.146×10^{-2}	HCO_3Cl—Ca·Na	0.576
	20号煤层	7.793	819.39	20.821	8.643×10^{-2}	$HCO_3\cdot SO_4$—Ca·Mg	0.235
	20号煤层底板粉砂岩	1.919	168.294	4.737	3.2×10^{-2}	$HCO_3\cdot SO_4$—Na·Ca	0.237
一露天	15、16号煤层	19.242	7176.464	218.50	6.8×10^{-2}	$HCO_3\cdot Cl$—Ca·Na	0.20
	15号煤层底板粉细砂岩	1.932	1679.60	25.434	2×10^{-2}	$HCO_3\cdot SO_4$—Na·Ca	0.524
二露天	15、16号煤层顶板粉砂岩泥岩（夹煤层）	2.723	833.292	22.522	2.47×10^{-2}		
	15、16号煤层顶板粉砂岩泥岩（不夹煤层）	0.0013	0.0322	0.00194	1.78×10^{-3}	$HCO_3\cdot Cl$—Na·Ca	0.771
	15、16号煤层浅部	2.943	5886.47	179.94	5×10^{-2}	$HCO_3\cdot Cl$—Na·Ca	0.229
	15、16号煤层深部	2.413	8745.22	204.567	2.78×10^{-2}	$HCO_3\cdot Cl$—Na·Ca	0.304
	15、16号煤层底板粉砂岩	0.265	227.891	4.621	4.34×10^{-4}	$HCO_3\cdot SO_4$—Na·Ca	0.394

（据伊敏一、二南露天区水文地质工程地质报告资料）

表8-22 灵泉露天矿抽水试验简表

矿区名称	煤组名称	含水层名称	富水性	
			单位涌水量 (L/s·m)	导水系数 (m^2/d)
扎赉诺尔	伊敏组	Ⅰ煤组底～Ⅱ煤组顶板粉砂岩、细中砂岩	0.3～0.5	5～34
		Ⅱ煤层组	1.596	739.15
		Ⅱ煤组底板砂岩	0.11～0.15	24.57
		$Ⅱ_2$～$Ⅱ_3$煤层之间砂岩	0.025～0.027	5.97

关系，在垂深62m时，涌水量为4000m^3/d左右，垂深70～90m时，涌水量增大到6000～16658m^3/d左右，当垂深为90m时，涌水量下降到800～8000m^3/d（图8-23）。

表 8-23

孔　　号	抽水深度（m）	单位涌水量（L/s·m）	导水系数（m^2/d）
63—159	44.00～76.51	1.59～2.63	739.15
56—2	77.79～76. 51	0.24～0.25	22.30
56—1	141.83～227.29	0.042～0.049	2.60

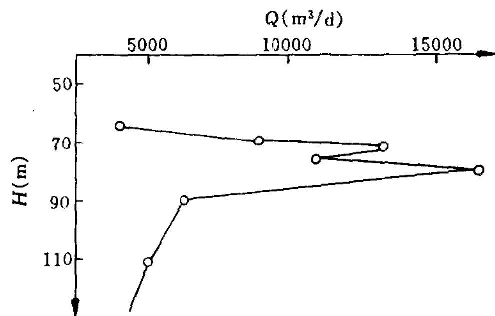


图8-23　大雁矿区二矿一井涌水量与开拓深度关系图

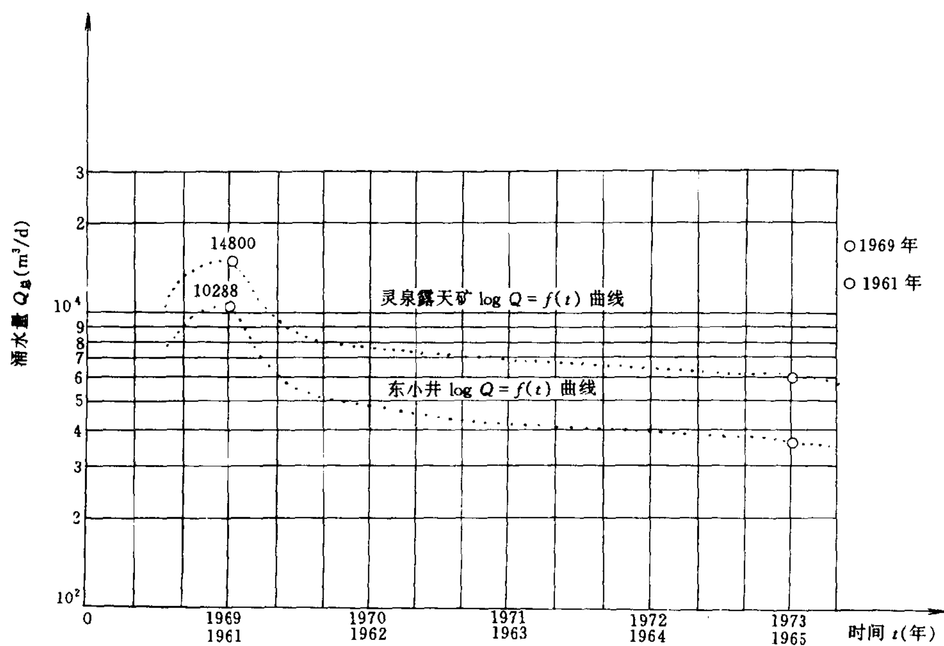


图8-24　扎赉诺尔灵泉露天矿与东小井涌水量与时间关系图
（引自内蒙古灵泉露天矿补充地质勘探报告）

（4）矿井涌水量以消耗静储量为主要特点，在开拓初期主要消耗储存量，矿井涌水量大、以后随着时间的延长，储存量逐步消耗，其涌水量就逐渐减小。例如灵泉矿的总涌水量1969年为14800～12000m^3/d，1973年为6000～5800m^3/d，扎赉诺尔矿东小井涌水量1961年为10288m^3/h，1965年为2623m^3/h（图8－24）。

大雁矿区二矿一采区主副井井筒深度为200m，厚为30万t/a生产规模，后于1974年扩建为45万t/a，从1972～1974年经历三年排水，第一年涌水量由4000m^3/d上升到16658m^3/d，第二年降至4000～5000m^3/d，第三年则又降至2500～3000m^3/d左右（图8－25）。

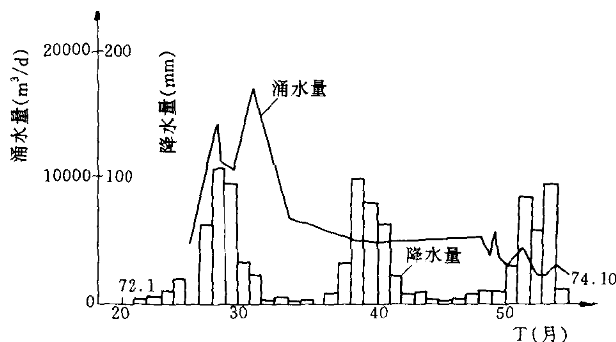


图8－25　大雁矿区二矿一井涌水量与时间关系图

（5）第四系孔隙含水层不整合覆盖于煤层之上，与煤层各含水层、地表水存在着水力联系，与裂隙发育的煤系风化带直接接触的部位，第四系潜水层会进行垂向越层补给。

第四节　以岩溶含水层充水为主的煤田

本类型煤田以岩溶含水层充水为主，分布于太行山中段冀西南、冀北、太行山南段豫北、豫西、鲁西、鲁西南、陕西渭北、湘中、桂中、粤北、川东、黔东、苏、鄂两省长江中下游一带，山西省临汾地区和滇中、滇南、滇东北一带，主要是产于北方石炭二叠系、下侏罗统和南方二叠系、三叠一侏罗系、上第三系中新统具有碳酸盐岩类岩层的各种牌号的煤田。

主要含煤地层是：

北方：主要是石炭系太原组和下二叠统山西组，还有冀北下侏罗统下花园组。

南方：主要是上二叠统龙潭组、合山组，还有下二叠统梁山组，上第三系中新统小龙潭组。

本类型煤田又可分为以底板进水为主和顶板进水为主两个亚类：

底板进水为主的岩溶充水煤田

属于本亚类的煤田有主采煤层受煤系基底中奥陶统石灰岩（以下简称中奥灰）水威胁的华北石炭二叠系煤矿区与下侏罗统煤矿区；以及华南受下二叠统茅口、栖霞灰岩与中石炭统黄龙灰岩水威胁的上二叠统煤矿区和受石炭系中上统壶天灰岩水威胁的三叠一侏罗系

煤矿区及受上泥盆统宰格灰岩，寒武系，二叠系和中三叠统石灰岩水威胁的上第三系中新统煤矿区。

本亚类煤田的水文地质特征为：

直接充水含水层位于煤层以下，灰岩含水空间形态在华北石炭二叠纪煤田常见以溶蚀裂隙为主，溶洞溶孔次之，在华南二叠纪煤田以溶洞为主。含水层补给区在矿区外围裸露区与覆盖区，补给水源主要为降水，补给方式为直接吸收降水与地表水集中渗漏。补给量大小取决于灰岩裸露区面积、岩溶裂隙的发育强度、降水量大小以及地表水体分布的情况。地下水除直接揭露涌水外，主要是在煤层底板隔水层薄弱，受构造破坏以及大面积采空地段，造成底鼓突水流入矿井，矿井涌水量普遍很大。因疏排地下水引起矿区外围的地面塌陷，南方地区更为普遍与严重，并伴有泥沙溃入矿井。

根据自然地理、地貌、地质构造、充水含水层含水空间形态、蓄水构造规模和地下水补、径、排条件等因素，南方和北方煤田水文地质有明显差异。

（一）北方石炭二叠系岩溶充水为主的矿区

本区地理坐标位置大致位于 37°30′至 34°30′ 以南。西起黄河及渭北东部，东临渤海、北接燕山、南邻秦岭、伏牛山至淮河以北一线；包括晋中南、冀北、冀中、鲁中南、豫西、豫北、渭北东部、徐淮及北京地区。

本区从西到东展现出三种截然不同的地貌形态：西部为高原地貌，东部为山地丘陵，中部为大平原。全区可划分为五个地貌单元：①西部高原区。②中部华北平原区。③鲁中南山地。④燕山山地。⑤豫西山地丘陵。

石炭二叠系岩溶充水矿区主要分布在西部高原东西两侧的吕梁山与太行山山前倾斜平原和鲁中南与豫西山地丘陵区。

本区属大陆性季风型暖温带、亚湿润一半干旱气候、降水不多而集中，区内各地降水量差异较大，山西高原为 400～600mm，河北省多年平均为 550mm，燕山、太行山迎风坡在 600mm 以上。

流经本区的河流有黄河、海河、滦河及淮河诸水系，均流入渤海。这些河流的支流，在流经区内灰岩分布区，均发生不同程度的渗漏。

矿坑岩溶水主要来自上石炭统太原统灰岩和煤系下伏的中奥灰，后者是威胁矿井安全生产的主要充水水源。

1．华北中部区

（1）中奥灰是地下水补给资源丰富、调蓄能力强的岩溶含水层，一般厚度 500～600m。

渭北煤田基底奥陶纪石灰岩与石炭二叠纪煤系的接触关系自东向西从平行不整合逐步过渡到角度不整合。石灰岩厚度自东向西逐渐增厚（韩城矿区为 340～400m），往西至耀西矿区达 926m，最大厚度达 1471m。由于华北地台的相对稳定，形成了开阔的褶皱在其边缘发育着紧密断裂。受这一构造控制的中奥灰形成有若干个汇水面积大于千余平方公里的大型岩溶水系统，矿区位于由补给区流向排泄区的径流带上。矿区外围中奥灰广泛出露，面积大于千余平方公里，是岩溶地下水补给区，得到大气降水及地表水的集中渗漏补给。矿区附近岩溶水沿断裂带、河谷或地形低洼处又以涌泉形式泄露地表，泉水流量大且较稳定，据不完全统计，出露在北方中奥灰地层中的主要岩溶泉约有 44 个，其中流量大

于 $1m^3/s$ 的岩溶泉主要分布在本区内（表 8-24）。

表8-24　华北中部区部分矿区奥陶纪石灰岩地下水资源概况

矿区	灰岩出露面积（km^2）	可采资源量		泉水多年平均流量		储存量（亿 m^3）	泉口高程（m）	泉群名称
		万 m^3/a	m^3/s	万 m^3/a	m^3/s			
井陉	1656.4	34632.8	10.98	18353.95	5.82	31.7	170～190	威州泉
邢台	393.6	21813.7	6.92	18921.6	4-6	25.0	62～67	百泉
峰峰邯郸	1207	37414.3	11.86	28382.4	6-9	38.7	122～130	黑龙洞泉
安阳	289	5894.9	1.87	4667.33	1.48	10.0	135.7	珍珠泉
安阳鹤壁	395	19840.9	6.29	17754.77	5.63	27.5	131.90	小南海泉
鹤壁	150	4946.6	1.57	3942	1.25	10.5	112	许家沟泉
焦作	1073	31334.6	9.94	29013.12	9.20	38.9	99～100	九里山泉
霍县	1500	26994.82	8.56	24994.82	8.56	46.0	516～521	郭庄泉
淄博	802.45	25057.34	7.95			15.58		
肥城	563.16	19035.95	6.04					
韩城	30.69*	1327.66	0.421					
铜川蒲白澄合区	782.05*	17565.55	5.57	3784.32 6307.2 3248.2	1.20 2.00 1.03		348～351 377 352	东王泉 袁家坡泉 温汤泉

* 含浅埋面积

（据“中国北方岩溶”项目和 131 队资料）

（2）中奥灰在矿区埋藏深度一般 200～600m，为承压岩溶裂隙含水层。岩溶裂隙发育，岩溶充水空间形态主要有溶孔、孔洞、溶蚀裂隙、溶洞等，以溶蚀裂隙为主。从单位涌水量来看，本区多属中等、强一极强富水，太行山中段、南段山前地带，辽南、山西、渭北东部的断陷盆地和向斜盆地的翼部地区的富水性比鲁中南地区强些，如邢台、邯郸、峰峰、焦作地区最大单位涌水量 q 为 40～76L/s·m，霍县、韩城、澄合地区最大单位涌水量 36～191.3L/s·m，淄博、新汶、肥城、枣庄、徐州地区最大单位涌水量 q 为 28～49.951L/s·m（表 8-25）。大口径孔组抽水试验显示出水量大、稳定、连通性好、压力传递快、水位降低少、降落漏斗平缓、扩展范围大等特点。如山西平朔矿区的孔组抽水，其抽水量为 $0.4m^3/s$ 历时 42 昼夜 5 小时，漏斗扩展范围超过 $400km^2$，中心观测孔降深

表 8－25 北方石炭二叠系矿区中奥陶统灰岩富水性勘探成果表

地区	矿　区	单位涌水量（L/s·m）	单井涌水量（m^3/d）
华北中部区	淄　博	5.6～6.7	一般 1000～3000 最大 10000 最小 500
	新　汶	4.85～10.0	
	枣　庄	1.2～14.3	
	肥　城	8.1～28.0	
	徐　州	22～49.95	200～3000
	井　陉	0.02～7.595	
	临　城	0.111～21.342	
	邢　台	0.224～41.159	＞1000
	邯　郸	1.78～40.00	1000～3000
	峰　峰	0.192～42.95	
	安阳—鹤壁	0.05～5.55	90.02～4800
	焦　作	1.10～76.0	700～2000 个别 4500
	平　朔	0.08～93.36	
	轩　岗	0.60～194.5	
	太　原	0.108～46.90	1000～3000
	阳　泉	0.5～9.273	1000～5000
	潞　安	0.571～33.017	
	晋　城	0.65～23.0	1000～2000 个别 4500
	汾　西	2.13～21.96	
	霍　县	0.63～96.77	1000～10000
	韩　城	0.2～191.30	渭北地区 1000～4800
	澄　合	0.2～36	
华北南部区	密　县	1.50～24.0	
	义　马	1.06～5.0	
	新　安		166～1415.23
	偃　龙	0.01～2.0	279～1911
	平顶山（$\in_{2+3}$）	0.002～3.78	

（取自中国北方岩溶项目资料）

0.655～1.679m，周围观测孔降深均＜0.184m，又如峰峰矿区王凤煤矿的孔组联合抽水，抽水量为 1.565m^3/d，抽水开始后 15min 影响到 2.5km 以外，水位下降 0.1cm 以上；90min 影响到 6.6km，水位下降 0.4cm；而当延续抽水 32 昼夜，最大水位降深仅 2.56m，平均降深仅 1.5m 左右（表 8－26）。

表 8-26　中奥灰大口径抽水试验情况

矿区名称	抽水量 (m^3/d)	中心区水位降 (m)	单位涌水量 ($m^3/d\cdot m$)
峰峰 王凤矿	135216	1.087～1.857	72814
焦作 岗庄水源地	85450 33264	13.33 3.21	4088 10362
平朔刘家口 水源地	34270	0.66～1.68	20398
韩城 电厂水源地	50803	4.23	12010

(3) **中奥灰为复杂的多含水层结构的统一含水层组。按沉积旋回可划分为峰峰组(O_2^f)、上马家沟组(O_2^s)、下马家沟组(O_2^x)三个组；根据岩性岩相特征、岩性组合和生物化石组合，每组又可划分为** 2～3 **段（全段划分为** 3 **组** 6～8 **段）。根据各层段岩石化学成分、矿物成分、结构、岩溶层组类型、裂隙岩溶形态和发育情况、含水特征以及富水性差异还可将其划分为** 3 **个含水层**（O_2^{f2}）、（O_2^{s2+3}）、（O_2^{x2+3}）**和** 3 **个隔水层**（O_2^{f1}）、（O_2^{s1}）、（O_2^{x1}）**，隔水层分别位于峰峰组、上马家沟组和下马家沟组的底部。在渭北地区按沉积韵律，岩性和岩层富水性强弱可划分为** 4 **组** 10 **段，即下马家沟组**（O_2m_1）**包括** $O_2m_1^1$、$O_2m_1^2$**，上马家沟组**（O_2m_2）**，包括** $O_2m_2^1$、$O_2m_2^2$**，峰峰组**（O_2^f）**，包括** O_2^{f1}、O_2^{f2}、O_2^{f3}、O_2^{f4}**，平凉组**(O_2p)**，包括** O_2p_1、O_2p_2，4 **个相对隔水层，**6 **个岩溶裂隙含水层（表** 8-27）。

表 8-27　中奥陶统组段区域对比表

太行山区			鲁中南			江苏徐州			安徽两淮			渭北			备注
组	段	厚度 (m)	组	段	厚度 (m)	组	段	厚度 (m)	组	段	厚度 (m)	组	段	厚度 (m)	
												平凉组	O_p^{1-4}	866.28	
峰峰组	O_2^{f1}	34-134	八陡组	O_2^b	83～121	八陡组	O_2^b	85	老虎山组	O_2^{f2}		峰峰组	O_2^{f4}	48.4	
													O_2^{f3}	68.8～81.8	
	O_2^{f2}	36-91	阁庄组	O_{2s}^g	66～117	阁庄组	O_2^g	64-97		O_2^{f1}			O_2^{f2}	5.4～133.5	
													O_2^{f1}	33.5～125.36	
上马家沟组	O_2^{s2}	127-266	五阳山组	O_1^w	31～568	上马家沟组	O_2^{s2}	141	马家沟组	O_1^{m2}	56～267	上马家沟组	O_2^{s2}	111.65～182.19	
	O_2^{s1}	26-63	土峪组	O_1^t	26～62		O_2^{s1}	61		O_1^{m1}			O_2^{s1}	27.86～80	
下马家沟组	O_2^{x3}	99-148	北庵庄组	O_1^b	141～211	下马家沟组	O_1^{x2}	61	萧县组	O_1^{x2}	73-177	下马家沟组	O_2^{x2}	20～56.7	
	O_2^{x2}	11-65	东黄山组	O_1^d	19～59		O_1^{x1}	121		O_1^{x1}			O_2^{x1}	19.2～24.27	
	O_2^{x1}	13-17				贾旺组	O_1^j	15	贾旺组	O_1^j					

（据中国北方岩溶项目资料）

在开采太原组下部煤层时，因相对隔水层的存在，中奥灰含水层组不同含水层段向矿坑充水的作用不同。根据含水作用差异，可划分出直接充水含水层段与间接充水含水层段，前者决定着矿坑涌水量的大小，后者决定着矿坑涌水量的持续时间和趋势。通过太行山地区中奥灰的层组对比，可知焦作矿区缺失峰峰组沉积，上马家沟组含水层段为其直接充水含水层段，下马家沟组含水层段是间接充水含水层段。鹤壁、峰峰、邯郸、邢台、井陉等矿区的峰峰组含水层段却是直接充水含水层段，上、下马家沟组含水层段为间接充水含水层段。渭北地区韩城矿区主要与中奥陶统峰峰组第一段（O_2^{f1}）相对隔水层接触。蒲白、澄合矿区与峰峰组第二段岩溶裂隙含水层段接触，铜川矿区则与峰峰组第四段（O_2^{f4}）岩溶裂隙含水层段接触（表 8－28）。

表8－28

地层单位				厚度 (m)	主要岩性	层段编号	含水性	含水层名称
系	统	组	段					
奥陶系	中统	平凉组	O_2p^2	253.90	白云岩 石灰岩	XI	泉水流量多在0.5～2.0L/s	弱岩溶裂隙含水层
			O_2p^1	80.76	页片灰岩 凝灰岩	X	有泉水出露，层段内夹有十数层凝灰岩	相对隔水层
		峰峰组	O_2f^4	48.40	石灰岩白云质灰岩	IX	地表岩溶裂隙发育，地表水体流经本段时常形成大量漏失	岩溶裂隙含水层
			O_2f^3	68.80－81.80	白云岩	VIII		岩溶裂隙含水层
			O_2f^2	149.12	白云质岩 灰质白云岩 白云质灰岩 豹斑状灰岩	VII	钻孔单位涌水量一般1～3L/s·m，东王喷泉流量达1.1963m³/s	强岩溶裂隙含水层
			O_2f^1	62.11～125	泥灰岩 白云岩	VI	钻孔单位涌水量9<0.001－0.16L/s·m	相对隔水层
		上马家沟组	$O_2m_2^2$	111.65～182	泥灰岩 灰质白云岩 厚层白云岩	V	钻孔单位涌水量3.6～148.81L/s·m	强岩溶裂隙含水层
			$O_2m_2^1$	28～456.70	泥质白云岩 薄层白云岩	IV	钻孔单位吸水量0.061m³/h·m	强岩溶裂隙岩水层
		下马家沟组	$O_2m_1^2$	5～70	灰岩夹 泥灰岩	III	袁家坡水源地钻孔单位涌水量0.72～138.95L/s·m	强岩溶裂隙含水层
			$O_2m_1^1$	19.20～24.27	泥灰岩 白云岩	II		较稳定隔水层段

(4) 中奥灰岩溶水向矿坑充水一般有如下 4 种方式：①通过直接覆盖在煤系上的第四纪底部砂砾含水层垂直下渗，作为山西组砂岩和太原、本溪组石灰岩地下水的补给水源，间接流入矿坑。②通过基岩风化带侧向补给山西组砂岩和太原、本溪组石灰岩的地下水，间接流入矿坑。③通过断层两侧与山西组砂岩和太原、本溪组石灰岩对口部位的侧向补给，间接流入矿井。④通过矿井开采范围内出现的断裂破碎带、岩溶陷落柱直接发生突水，或作为太原、本溪组石灰岩岩溶含水层补给水源间接突水。

后者往往造成淹井，或迫使矿井负担大量排水费用，是矿井充水的主要特征。导水断裂破碎带、岩溶陷落柱往往是底板突水的通道，断层突水占总突水次数的 66.7%～90%。据不完全统计，截至 1986 年底，在开采山西组与太原组煤层时底板突水约 341 次。其中突水量 11～50m^3/min 的 58 次，51～100m^3/min 的 15 次，>100m^3/min 的 10 次（表 8－29）。

表 8－29　华北石炭二叠系煤矿区突水量突水次数统计表

地区	矿区	突水次数	突水量（m^3/min）				
			>100	100～51	50～11	10～5	<5
华北中部区	淄博	151	1	3	2	4	141
	肥城	7	1	1	2	1	2
	井陉	30		1	4		25
	峰峰	30	1		5	8	16
	鹤壁	9	1	1	2	2	3
	焦作	106	6	9	41	50	
	新汶	1			1		
	枣庄	1			1		
	霍县	5				1	4
	京西	1				1	
华北南部区	新密	3		1	2		
	偃龙	8			7		1
	荥巩	2		1	1		
	观音堂	1			1		
	平顶山	5		2			8
	临汝	3			1	1	1

(5) 上石炭统太原组总厚度 50～170m，石灰岩有 3～12 层（总厚度一般 10～20m），为承压岩溶裂隙含水层。北部太行山中段，峰峰、邯郸、邢台、临城地区太原组夹 5 层以下灰岩，灰岩总厚 10m 以下，太行山南段安阳、鹤壁、焦作和鲁中南新汶、淄博、肥城地区夹 8 层以下灰岩，灰岩总厚 10～20m ，在苏皖一带灰岩层数层均在 10 层以上，徐州

地区夹 10～13 层，灰岩总厚度 20～30m，且往西南方向逐渐增厚，至淮南、淮北最厚可达 70m 以上，渭北东部地区夹 1～3 层灰岩，灰岩总厚度＜5m（图 8－26）。

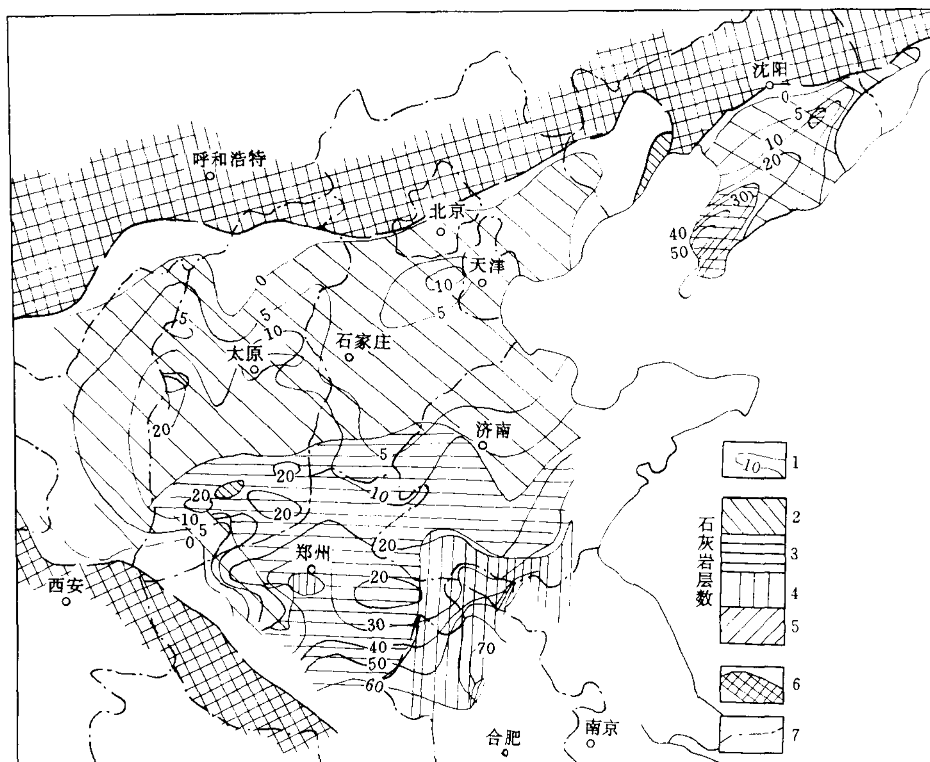


图 8－26　中国北方太原组石灰岩分布图

1－石灰岩总厚度等值线图；2－＜5层　3－5～10层；4－10～15层；5－＞15层；6－隆起区；7－省界

太原组灰岩富水性除与其层数、厚度及岩溶发育程度有关外，更主要取决于中奥陶统灰岩地下水对其补给，例如，峰峰、焦作矿区断层切割严重，主要薄层灰岩（L_2 灰岩距中奥陶统灰岩只有 25～40m，中奥陶统灰岩对薄层灰岩有较强补给，故其单位涌水量 q 达 12～57.6L/s·m，在淄博、肥城等矿区，虽然断层切割也很严重，但由于主要薄层灰岩与中奥陶统距离为 35～60m，中奥陶统灰岩水向薄层灰岩的越流补给能力要弱得多，其单位涌水量仅在 3.0～7.5L/s·m 左右（表 8－30）.

太原组石灰岩岩溶裂隙含水层，对矿井充水有影响的含水层在山东新汶、肥城矿主要是第四层石灰岩；在太行山中、南段矿区主要是第八层石灰岩——开采山西组煤层的主要直接充水含水层和第二层石灰岩——开采太原组下部煤层的主要直接充水含水层，它尚能通过断层突入山西组大煤采区，对矿井充水的严重程度主要取决于是否得到中奥灰地下水的补给。焦作矿区太原组石灰岩和中奥灰地下水联系密切，接受中奥灰地下水侧向垂直补给，截至 1987 年底，11 对生产矿井计，太原组第八层石灰岩总涌水量约 260m^3/min，远远超过其储水能力，显然，说明矿井疏排水实际上是中奥灰水。

表 8-30 太原组灰岩单位降深涌水量统计表

矿区名称	单位降深涌水量 (L/s·m)	与 O_2 水力联系	备注	矿区名称	单位降深涌水量 (L/s·m)	与 O_2 水力联系	备注
潞安	0.28	微弱		邢台	3.7	有联系	
轩岗	0.03	微弱		汾西	7.4	有联系	
阳泉	0.01	微弱		霍县	1.6	有联系	
太原	0.03	微弱		长治	1.0	有联系	
韩城	0.01	微弱		新密	4.6	有联系	
蒲白	0.01	微弱		徐州	3.2	有联系	
枣庄	0.01	微弱		峰峰	57.6	密切	
淄博	3.0	有联系		焦作	12.0	密切	
肥城	4.7	有联系		平顶山	11.0	密切	
新汶	7.5	有联系					

2. **华北南部区**

(1) **中奥灰是地下水补给资源与储存资源有限的岩溶裂隙含水层，厚度薄、变化大，一般** 200~250m **。在密县、义马其厚度为** 40~230m，**禹县** 0~42m，**临汝、平顶山、登封中奥灰缺失，这些矿区的煤系基底为寒武纪石灰岩，厚达** 200~300m。**中奥灰与寒武纪石灰岩，从单位涌水量来看，多属中等—强富水。**

矿区外围中奥灰和寒武纪灰岩出露面积小（数十至数百平方公里）一般百余平方公里，地下水补给条件远较华北中部区的矿区差（表 8-31)。

表 8-31 华北南部区部分矿区奥陶纪寒武纪石灰岩地下水资源概况

矿区	灰岩出露面积 (km^2)	可采资源量		泉水多年平均流量		储存量 (亿 m^3)	泉群名称
		万 m^3/a	m^3/s	万 m^3/a	m^3/s		
偃　龙	176.0	2908.38	0.922	988.11	0.313	17.69	
荥　巩	283.0	4684.77	1.485	1809.22	0.573	7.77	
密　县	168.5	4088.17	1.296	2583.74	0.819	6.19	
临　汝	172.0	2752.86	0.873	497.64	0.157	4.99	
平顶山	48.3	5100.84	1.617			6.77	
登　封	86.0	1237.88	0.392	782.73	0.248	0.45	
禹　县	288.0	4025.8	1.276			0.43	

（据“中国北方岩溶”项目资料）

(2) 矿井充水主要是底板突水，但突水次数与突水量远较华北中部的矿区要小的多。据不完全统计，在开采山西组煤层时，底板突水 22 次，其中突水量 11～50m^3/min12 次，51～100m^3/min 的 4 次，最大突水量为 75.2m^3/min。突水淹井后，经短时间疏排降压，矿坑涌水量和水位往往发生大幅度的减少和降低，充分显示了矿井充水补给水源的不足，故矿井水害严重性小于华北中部区的煤矿。例如平顶山矿区平九矿， 1974 年 1 月 25 日井底车场（标高 -120m 水平）突水，突水量为 71.60m^3/min（正常涌水量是 3.33m^3/min)。平八矿东风井，1971 年 1月 17 日于 -275m 回风石门突水，突水量 70m^3/min，水位标高 +55m；1979 年 3 月堵水恢复后的总水量在 4.06～6.1m^3/min 间，截止 1982 年，底板水量稳定在 2.5m^3/min ；而太原组第七层石灰岩水位下降到 -67m，降深达 122m，1985 年4～12 月在 -275m 水平打了 19 个放水孔，水量由 2.5m^3/min 增至 3.43m^3/min，使第七层石灰岩水位又下降 10m。

（二）南方上二叠统岩溶含水层充水为主的矿区

该类矿区大致分布于湖北南部、湖南中部、广西中部、广东北部、四川盆地东侧和贵州东部。

主要含煤地层为上二叠统龙潭组、合山组。

大部分矿区分布于小型含煤向斜盆地，一般含煤面积小（几十平方公里），井型小，产量亦低。龙潭煤组上覆上二叠统长兴灰岩，下伏下二叠统茅口、栖霞灰岩。岩溶水主要来自底板茅口灰岩，其次是顶板长兴灰岩，是威胁龙潭组煤层开采的直接充水水源（合山矿区上二叠统合山组四煤开采时的直接充水水源——四煤底板石灰岩除外），其下栖霞灰岩厚度 40～350m，它一般与茅口灰岩间无隔水层存在，很多矿区两者为统一含水层，从而扩大了茅口灰岩的补给面积，增加其补给量，而且茅口、栖霞灰岩环绕煤系出露于盆地四周，往往形成小型储水构造，加上区内降雨量大（1000～2000mm)，故矿井涌水量也很大。如湘中斗笠山、恩口、桥头河、煤炭坝 4 个矿区的 10 对矿井（含四方山井），1986 年雨季最大涌水量为 17953m^3/h，旱季最小水量为 8862m^3/h，年平均 13230m^3/h，年平均含煤系数达 110m^3/t. E

1. 煤田水文地质基本特征

(1) 茅口灰岩在湘中厚度 127～630m，鄂南黄石七约矿区厚度 80～191.62m，川东厚度 115～205m ，与主采煤层间距一般＜5m，岩溶发育强烈，在湘中一带矿区的地表分布有落水洞、漏斗，岩溶洼地、岩溶泉，地下则以溶洞为主且多数为泥沙半充填一充填，在川东一带的矿区，由于地壳基本上处于长期阶段性的上升，地表岩溶以漏斗、落水洞、天然井为多，并发育有水平岩溶通道，地下则以溶洞为主，常见暗河管道型岩溶洞穴。

(2) 岩溶地下水主要通过石灰岩裸露区的漏斗、落水洞和岩溶洼地大量汇集与吸收地表水而获得补给。川东一带矿区尤为明显。

(3) 矿井突水和强烈抽排地下水均产生地面坍陷，涌出泥沙充填物，发生地表水倒灌，严重影响矿产资源的开发。

(4) 当煤矿区位于侵蚀基准面以上时，底板茅口灰岩内地下暗河发育，矿井涌水量与降水量变化关系十分明显，井下突水多在暴雨后发生，这是因为暴雨致使暗河水位迅速上涨的缘故。其突水特点是来势猛，水量大，含泥沙、滞后期短，消退快，水量变化系数大。

2. 不同地区的煤田水文地质特征

(1) 川东地区　大致位于四川盆地东侧华蓥山脉中段和四川盆地与云贵高原的过渡地带。主要含煤地层为上二叠统龙潭组。本区是处于地壳不断上升，侵蚀基准面不断下切的地区，区内山势巍峨、沟谷纵横，切割剧烈、地势起伏大，属中低山地形。区内碳酸盐岩类地层大面积出露，洼地残丘、溶洞、落水洞、漏斗、地下暗河等各类形态岩溶遍布全区，呈现本区裸露型岩溶山地的地貌景观。气候温湿多雨，年平均降雨量 900～1200mm，每年 6～8 月为雨季，降雨量占全年的 50% 以上。很多矿井位于当地侵蚀基准面以上，平硐开采，矿井涌水量与大气降水关系十分密切，水量变化系数大。

本区煤田水文地质基本特征为：

①区内与煤田水文地质条件有关的岩溶含水层与隔水层自新至老为下三叠统嘉陵江 T_1j（弱岩溶含水层）、下三叠统飞仙关泥岩 T_1f（隔水层）、下三叠统玉龙山石灰岩 T_1y（弱岩溶含水层此层在华蓥山地区缺失）、上二叠统长兴石灰岩 P_2c（中等岩溶含水层）、上二叠统茅口石灰岩 P_1m（强岩溶含水层）、栖霞石灰岩 P_1g（强岩溶含水层）、下二叠统梁山组地层（隔水层）。由于一般没有很大的横向断层错动，故各含水层在岩溶发育上呈不联系（图 8－27、图 8－28)。

地层代号	层厚(m)	柱状	含水性
T_1j	696		含水性中等
T_1f	164		隔水层
T_1y	151		含水性中等
P_2c	62		含水性中等
P_2l	82		隔水层
P_1m	127		含水性强
P_1q	230		含水性强
P_1l	7		隔水层
S_2h	320		隔水层

图 8－27　南桐矿区地层含水性示意图

地层代号	层厚(m)	柱状	含水层
T_1j	707.00		中等含水层
T_1f	185.74		隔水层
T_1y^{2+3}	110.00		中等含水层
T_1y^3	21.67		隔水层
P_2c	50.77		中等含水层
P_2l	78.71		隔水层
P_1m	121.00		强含水层
P_1q	243.00		强含水层
P_1l	110		隔水层
			隔水层

图 8－28　松藻矿区地层含水性示意图

②区内各矿区地表水系发育，河流均为壮年期河流，流量变化与降水量关系密切，由于河流横向切割地层，将矿区分割成面积不等的河间地块，地表河流往往成为划分井田的

边界，每个井田都基本为“河间地块型”相对独立的水文地质单元。单元内岩层大部裸露，含水层地下水接受大气降水补给，沿岩层走向运移，排泄于河谷两侧及低洼各地。例如松藻矿区北起松藻井田北界藻渡河，南至梨园坝井田南界 F_{53} 断层，走向长 38.5km^2，面积约 154km^2，矿区每隔 5～6km 便有河流切割，自北往南有藻渡河、松坎河、观音桥河、后溪河、三岔河、两河口河、仙洞河、梨园坝河，它们将全矿区切割成若干面积为 30～50km^2 的河间地块型水文地质单元，其间有各自的补给区、径流区、排泄区（图 8-29）。

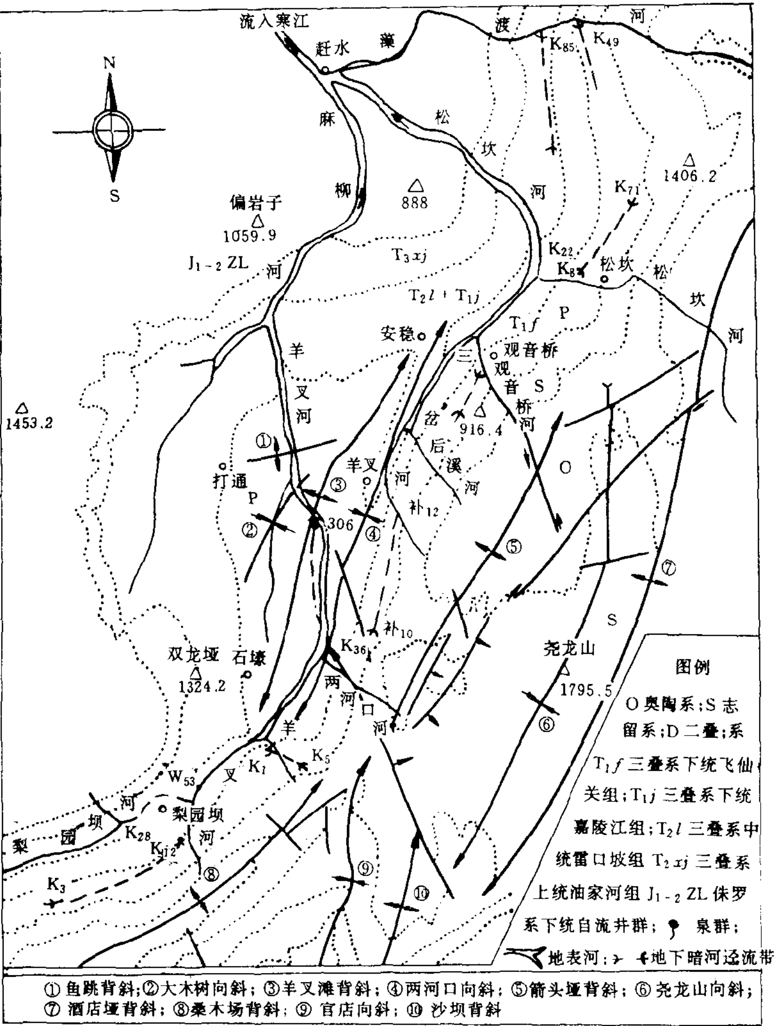


图 8-29 松藻矿区区域水文地质略图

③上二叠统茅口组 P_1m 和栖霞组 P_1q 石灰岩强岩溶含水层为一个统一含水层，其中栖霞组是矿井底板间接充水含水层，厚度 220～250m，其岩性为深灰色厚层状石灰岩。茅口组是直接充水含水层，厚度 115～183m（红岩煤矿），一般约 120m，其岩性为灰色、灰

白色厚层状石灰岩，上距龙潭组 K_1、M_{12} 煤平均＜5m，上距 K_3^b、M_8 煤层一般 20～25m（图 8－30、图 8－31）。在各井田内灰岩裸露面积由＜10km² 至 40km² 左右。

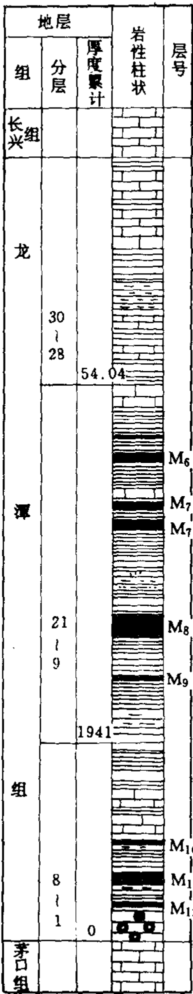


图 8－30　松藻矿区煤系地层岩性图
（据三义滩井田精查报告）

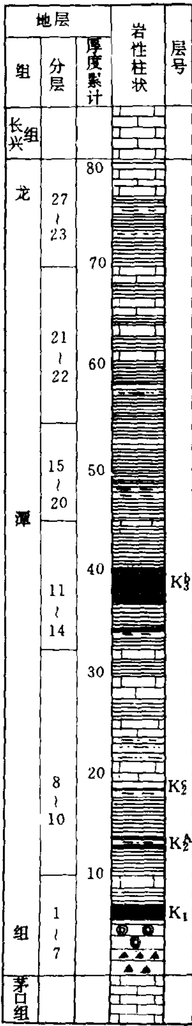


图 8－31　南桐矿区煤系地层岩性图
（据兴隆井田精查报告）

该岩溶含水层岩溶裂隙发育，泉水量大，富水性极不均匀，在水平与垂直方向上和层段上有着明显的差异，在水力联系上存在着各向异性。在岩溶管道与溶洞发育部位及与之有联系部位富水性强，其它部位富水性弱或不含水。

岩溶和岩溶水垂直分带明显，可划分为：

垂直循环带：位于地下水位以上，近河地段一般 30～50m，而在分水岭附近可达 300m 左右，地表发育着大量漏斗、落水洞、溶洞并伴有岩溶洼地，地下多溶道、溶洞和裂隙，大气降水主要通过地表落水洞、漏斗垂直下渗，相互间不联通或水力联系极弱。

垂直和水平交替循环带：即处于地下水季节变动带范围内，垂直高度约 30～40m，岩

表 8-32 松藻矿区茅口组、栖霞组石灰岩暗河发育情况统计表

井田名称	侵蚀基准面标高（m）	暗河发育情况												本层泉水总流量（L/s）
		暗河名称	长度（m）/坡度（‰）	流向/流速（m/d）	进口			出口						
					编号	标高（m）	部位	编号	标高（m）	部位	流量（L/s） 较大/较小	流量（L/s） 一般	占全层流量（%）	
梨园坝	约 800.0	K_{12}	7000/26.0	SW→NE/1248	K_3	1005.55	P_1m 上部	K_{12}	824.06	P_1q 中部	940.0/12.0	176.0	98.6	178.467
张狮坝	约 560.0	苏家坝	1000/14.3	N→S	K_{32}	947.26	P_1m 底部	K_{18}	804.35	P_1m 下部	233.97/2.06	13.665	2.6	562.196
		仙洞河	1700/17.3	SW→NE	K_5	981.14	P_1q 底部	K_1	686.95	P_1m 顶部	4080.0/42.55	229.0	39.3	
		道 洞	2330/18.5	S→N	K_{77}	995.67	P_1m 上部 距 P_2l 约 30m	W_5	561.31	P_1m 上部 距 P_2l 约 30m	—	2.599	0.5	
羊叉滩	约 420	火眼龙	4500/9.2	SW→NE	补 10	919.81	P_1m 中部	补$_{12}$	505.17	P_1m 上部	404.599/20.131	60.615	55	110.212
松二井		观音桥	1980	SW→NE			P_1q 中部	59		P_1q 下部	552.7/1.578			
松一井		烂 湾	550/1104.0	N→W/2640	K_{15}	833.20	P_1m 顶部	C_6	335.00	P_1m 上部	904.444/2.73	11.764	10	116.184
	约 300	倒崖洞	2950/117.0	NE→SW	K_{14}	670.52	P_1m 中部	K_{22}	325.4	P_1m 上部	300.00/4.458	16.835	14	116.184

（据松藻矿区松藻煤矿一井勘探（延深）地质报告）

溶以溶洞、岩溶通道及较大裂隙为主，地下水在垂直和水平方向交替运动。

水平循环带：地下水位以下的饱水带，其厚度约 80～150m ，地下水接受上部下渗的水流转为水平运动为主、交替强烈、发育着水平溶洞与溶道，最终形成规模较大的暗河，分布在河谷切割的侵蚀基准面高度附近和最低地下水位以下以及受河谷排水影响的范围内，成为汇集垂直循环带渗流补给地下水的集中径流带，以岩溶泉和暗河出口形式向河谷排泄（表 8－32）。

深循环带：一般埋藏在各河间地块水文地质单元最低排泄基准面以下约 100m，地下水主要沿着溶蚀裂隙与溶孔缓慢运动，岩溶作用明显减弱，含水性随深度增加明显减弱。偶尔有孤立的封闭状溶洞，其中往往充满了水，水质矿化度高，具有硫化氢臭味。

④矿区内茅口灰岩地下水主要补给来源是裸露区内的漏斗、落水洞、岩溶洼地形成的封闭汇水洼地，大量汇集大气降水与地表水，为井下茅口灰岩出水点的补给水源，甚至成为灾害性水源。例如，南桐矿区红岩煤矿，其茅口灰岩出露面积 5.93km^2 内分布着 7 个溶蚀洼地，面积达 1.127km^2，洼地的汇水面积为 6.277km^2，岩溶洼地汇集大气降水转化为集中的地下径流量，并补给了茅口灰岩在向斜区内的海孔、大湾沟和背斜区的马达洞暗河，上述暗河被矿井南茅口大巷与北茅口大巷灰岩点揭穿，突水量达到 630～9200m^3/h（表 8－33、表 8－34）

表8－33　南桐矿区红岩煤矿洼地表

地区	洼地名称	洼地面积（km^2）	汇水面积（km^2）	层　位
向斜区	大海孔	0.695	3.445	茅口灰岩
	小海孔	0.25	1.544	茅口灰岩
	淹水塘	0.116	0.58	茅口灰岩
	万家河沟	0.033	0.58	茅口灰岩
	小　计	1.094	6.159	茅口灰岩
背斜区	落　塘	0.015	0.032	茅口灰岩
	庙　湾	0.009	0.051	茅口灰岩
	小湾塘	0.009	0.035	茅口灰岩
	小　计	0.033	0.118	茅口灰岩
合　计		1.127	6.277	

表8－34　暗河补给量表

暗河名称	地　层	补给汇水面积（km^2）	泉排泄量（m^3/h）	矿井突水点水量（m^3/h）
海　孔	茅口—栖霞	6.159	149 号泉 3000	南茅口 1 号点 9200
大湾沟	煤系—茅口	6.159	148 号泉 3000	南茅口 1 号点 9200
马达洞	煤系—茅口	0.118	马达泉 500	北茅口突水点 630

⑤大部分矿区位于侵蚀基准面以上，因底板茅口灰岩地下水迳流量全靠降水入渗补给，矿井涌水量与降水量关系明显，雨季矿井涌水量大，一般 4～12h 井下涌水量出现洪峰，最快仅 2～6h，旱季矿井涌水量较小（表 8－35）。

表 8－35　松藻矿区二井 1983～1985 年各月降水量及平均涌水量

年份	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1983	降雨量（mm）	38.3	28.9	41.8	92.5	132.3	164.5	275.5	118.8	30.4	65.8	58.1	17.3
	涌水量（m^3/h）	259.24	278.41	293.30	323.30	350.62	433.66	1193.67 最大为：2370.00	366.94	194.07	185.22	221.40	220.88
1984	降雨量（mm）	13.4	10.6	43.8	84.4	212.70	75.5	182.2	272.7	104.8	67.2	32.9	29.3
	涌水量（m^3/h）	262.08	221.27	175.15	277.49	698.57	496.52	1016.07	1353.10	527.55	388.62	211.77	163.11
1985	降雨量（mm）	14.6	10.2	76.6	84.6	143.4	151.2	81.4	167.3	96.7	76.2	37.6	17.9
	涌水量（m^3/h）	160.89	144.62	123.53	279.88	724.00	743.67	906.96	355.21	309.34	238.10	318.72	250.13

（据松藻矿区羊义滩井田精查补充勘探地质报告）

井下突水点多在暴雨后发生，突水点处于不同的岩溶带，其突水形式与突水量也不相同。

垂直和水平循环带突水，这是因为暴雨致使暗河水位迅速上涨的缘故。其突水特点是来势猛、水量大、含泥沙、滞后期短、消退快、水量变化系数大，一般在降水开始 3～5h，井下水量便开始增大，滞后期最快的 6～8h 流量即出现峰值，雨后 3～4h 水量变小，24～26h 后逐渐趋于正常，突水后附近暗河及岩溶泉即被疏干。如南桐矿区红岩煤矿丛林区＋540m 南总回风巷在茅口灰岩中揭穿一个充满泥沙的干溶洞，长 5m，宽 4m，1976 年 9 月 6 日在一次 8h 暴雨量达 142mm 时，补给地下水洪水量达 72 万 m^3，地下水位上升至 670m，当天矿井总排水量达 2.8 万 m^3/h，从溶道中冲入矿坑的砂砾 7270m^3。

水平循环带突水　在当地侵蚀基准面以下，底板茅口灰岩有暗河管道沟通河水，突水特点是储存量大，有一定的补给量，突水量与大气降水关系密切。

深循环带突水　岩溶一般不发育，偶有孤立的溶洞，突水特点是储存量较大，补给量小。如鱼田堡二井当地侵蚀基准面标高＋310m，在＋110m 水平茅口大巷曾数次揭露封闭状溶洞，其中最大一次突水水量为 2171m^3/h，很快就干涸。

（2）湘中区　大致位于洞庭湖以南，涟源以东，湘中挠褶带以北地区。区内上二叠统岩溶含水层充水为主的煤田主要包括：斗笠山、恩口、桥头河、煤炭坝、云湖桥、坪塘等

区，除云湖桥、银田寺、坪塘三矿区因水大尚未正式开采外，其余均已建成生产矿井10多对，服务年限均在30年以上。主要含煤地层为上二叠统龙潭组。矿区位于湘江及其支流涟水、伪水流域，区内地势开阔，谷地宽阔，为平岗低山丘陵地带，地形东南高，向北地势渐低，一般海拔标高50～400m（图8－32)。本区气候湿润多雨，雨量充沛，年降水量930～2000mm （平均约1300mm)，降水多集中在4～7月，年蒸发量为1030～1510mm。龙潭组主要可采煤层之二煤层与下二叠统茅口灰岩的间距很近，一般几公寸至10m，受底板茅口灰岩岩溶水害十分严重，1961～1984年，斗笠山、恩口、桥头河三矿已曾先后发生了39次岩溶突水事故，单个突水点最大水量为3300m^3/h，最大瞬时突水量可达27000m^3/h。据初步统计，截止到1990年底，斗笠山、恩口、桥头河三矿区现已开发的10对生产井，－350m以上受岩溶水威胁的煤炭储量有3388万t，占1989年末该10对矿井保有储量的80.9%

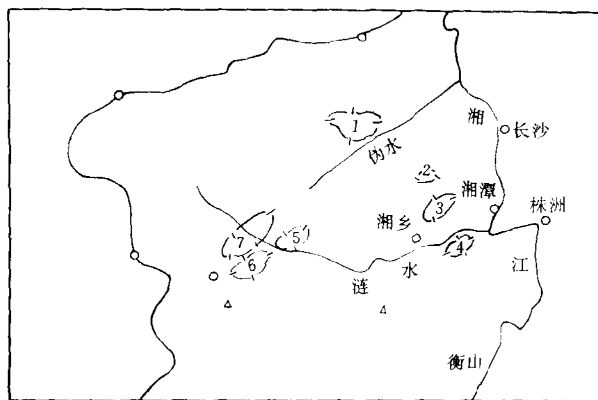


图8－32　湘中地区上二叠统底板进水为主岩溶充水为主煤矿区分布略图

1－煤炭矿区；2－银田寺矿区；3－云湖桥矿区；4－谭家山矿区；5－恩口矿区；
6－斗笠山矿区；7－桥头河矿区

现以斗笠山、恩口、桥头河三矿区说明本区二叠统岩溶充水煤田的水文地质特征。

斗笠山、恩口、桥头河三矿区均分布于含煤面积中等（斗笠山为68km^2，恩口为66.5km^2，桥头河为150km^2）的向斜盆地，四周高中间低，晚二叠统的地层组成盆地内缘环形低矮丘陵（标高150～200m)，下二叠统茅口组灰岩和栖霞组灰岩组成盆地内缘及外缘的环盆低山区（标高150～580m)。

区内地面水系发育，河溪、山塘、水库密布，流经矿区的主要河流为涟水、壶天河、小碧河、涓江、温江、龙述河，其切割龙潭含煤地层底板的茅口灰岩及香泉山灰岩长达24km，最大径流量为1020～401m^3/s（涟水和涓江)。

矿区水文地质基本特征：

①区内与矿区水文地质条件有关的含（隔）水层组自新至老有：下三叠统大冶组（T_1s、T_1a）弱岩溶裂隙含水层，上二叠统长兴组（P_2ch）弱岩溶裂隙含水层，上二叠统龙潭组（P_2l）相对隔水层，下二叠统茅口组（P_1m)，强岩溶裂隙含水层，栖霞组香泉山段灰岩（P_1q^4 中等岩溶裂隙含水层，下二叠统李子塘段（P_1q^3）泥岩相对隔水层（图

8－33）。

②李子塘段泥岩（P_1q^3）在盆地外缘环盆分布，组成区域性良好的隔水层，阻隔了向斜内外含水层的水力联系。

③下二叠统茅口组及栖霞组香泉山段灰岩为一个统一含水层，在岩溶发育、富水性强的地段，水力联系密切。其中栖霞组香泉山段灰岩是矿井底板间接充水含水层，平均厚度 130～200m（斗笠山矿 200m，恩口矿 130m，桥头河矿 150m），其岩性为深灰色薄一中厚层灰岩夹硅质灰岩条带，岩溶较发育，含裂隙水为主，钻孔单位涌水量 0.00569～0.364L/s·m，渗透系数 0.003252～0.478m/d。茅口组灰岩是矿井底板直接充水含水层，平均厚度 300～426m（斗笠山矿 300m，恩口矿 428m，桥头河矿 460m），其岩性以深灰色厚一巨厚层灰岩为主，地表和地下岩溶发育，富含溶洞裂隙承压水，钻孔单位涌水量 0.00032～5.764L/s·m，平均渗透系数 0.00011～14.833m/d，泉水多，流量 0.1～332L/s 矿井单个突水点最大水量为 3300m^3/h，瞬时最大水量 2.7万 m^3/h，井下 95%左右的水量来自该含水层。

④茅口组及栖霞组香泉山段石灰岩，岩溶十分发育，地表发育着漏斗、落水洞、溶洞和岩溶洼地，地下多溶洞、陷落柱、溶缝、溶裂及溶孔，以溶洞为主，且多被黄泥等半充填或全充填。岩溶分布特征：在河谷及天然排泄区或背斜倾伏端、向斜两翼转折处岩溶比较发育（表 8－36）；自天然补给区至排泄区、岩溶由弱到强（表 8－37）。

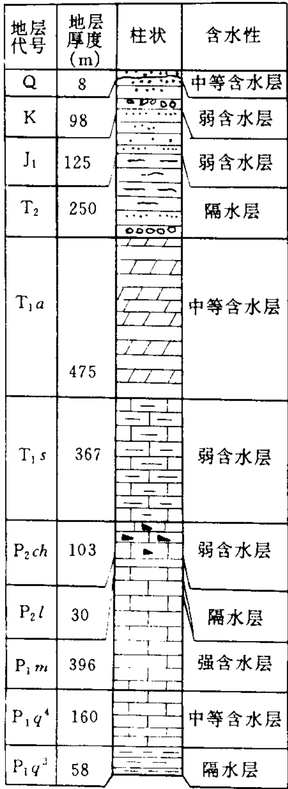


图8－33　斗恩桥三矿区地层柱状及含水性示意图

表8－36　斗恩桥矿区地质构造与岩溶发育特征表

矿区名称	地质及水文地质特征	地表岩溶率或塌洞密度（%）	备　注
斗笠山	龙函河谷、排泄区、次级向斜转折处	35.4	岩溶体及塌洞沿构造线分布明显
	黄土岭背斜倾伏端，泉塘排泄区	48.5	
桥头河	茹草处向斜转折端，排泄区	26.6	
恩　口	壶天河谷，次级断层褶曲发育	2500 个/km^2	
	山口冲次级背斜倾伏端	9000 个/km^2	

（据《略论煤层底板岩溶的防治》湖南省涟邵矿务局朱亚日资料）

表8-37　斗恩桥矿区不同水文地质区段岩溶发育特征表

区　名	岩溶特征	岩溶率（%）	岩溶发育标高（m）
补给区	岩溶洞穴小、分散	7.5～17.5	到－100～－250左右
承压区	岩溶洞穴多、较大		到－575～－832下
排泄区	岩溶洞穴大、多、密	16.0－48.5	到－150～－350左右

（据《略论煤层底板岩溶的防治》湖南省涟邵矿务局朱亚日资料）

本区岩溶发育深度问题，根据斗笠山矿深部揭露茅口灰岩60个孔，控制岩溶发育最低标高为－842.75m，垂深1015.98m，其中，在垂深769.55m，标高－538.75m的某钻孔见溶洞高6.15m，内无充填物，钻孔漏水严重，并发现在－671.90m标高以上的不少钻孔，均出现漏水严重现象，地下水位受矿井排水影响十分明显，水力坡度亦极为平缓，而在－831.53m的钻孔，虽见有高达8.11m的溶洞，但仍为粘土质充填，且无漏水现象，故可以说明，茅口灰岩在本区岩溶的发育普遍存在，同时，岩溶的发育受古剥蚀面溶蚀作用控制，受地下水循环、交替作用控制，是现代岩溶与古岩溶相互叠加与现代岩溶对古岩溶的加强结果，可以推断，随着煤矿开采深度的加深，矿井疏干中心继续向深部迁移，天然状态下的地下水循环交替将进一步受到人工作用的改造，交替深度亦必将加大，最终可使古岩溶管道裂隙全部贯通（图8-34），矿井深部仍将存在着茅口灰岩突水问题。

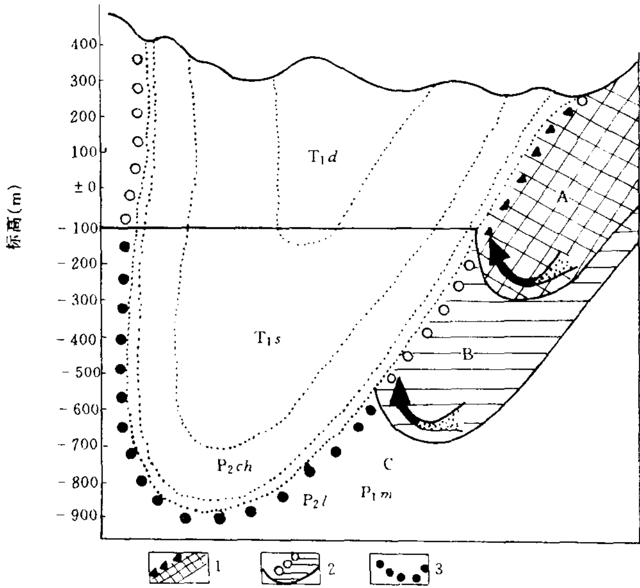


图8-34　地下水循环深度、岩溶发育情况

（据湖南省第二煤田勘探队）

1－现代地下水自然交替深度古代岩溶与现代岩溶迭加区；

2－地下水人工循环深度，古岩溶疏通区；3－深部停滞带岩溶区

⑤茅口组与栖霞组香泉山段岩溶地下水主要补给来源是大气降水，在裸露区接受大气降水和地表水渗漏补给后，向两侧的冲沟、河谷迁移，以泉点（泉群）或河床涌水形式泄露地表，另一部分流向埋藏区，沿着本含水层与上覆龙潭组和下伏李子塘泥岩隔水边界的接触带运移泄露地表。由于区内构造比较复杂，沿着走向断层与倾向断层形成区域与局部的岩溶发育径流带。

⑥本区煤层底板岩溶突水一般以大型通道突水、中小型管道涌水和小型裂隙带淋水等三种形式出现。其中，大型通道突水，一般沿溶洞、溶缝或断层破碎带突出，特点是来势猛、水量大、含大量泥砂、岩块（表 8-38）。

底板岩溶突水频率一般随深度增加而减少，突水强度则逐渐加强，突水点瞬时最大突水量具有分带性。

表 8-38　大型突水特征表

井名	突水点号	突水标高(m) 突水地层	突水时水头高(m)	突水量（m^3/h）				地下水位降速(m/d)	地表反应情况	矿井受害程度
				瞬时	一般	占当时全井水量(%)	体积含泥量(%)			
香花台	11	-22 煤系	170	700	560	47.9	20	5.5 （水22孔）	突水后20天距离2500m处泉干，25天该处塌陷	大巷停掘半月
香花台	2	-300 茅口灰岩	220	6480	1200	42.9	15	1.38 （井下资料）	突水后3个月地表疏干漏长轴达11.6km	大巷停掘3个月
黄港	21	-95 茅口灰岩	120	2300	800	47.1	30-15		地表塌陷加后	大巷停掘半年
恩二	1	-66 长兴灰岩	187	2300		100	大量煤、岩块冲出			全井淹没
四方山	124	-250 茅口灰岩	270	3300	2200	58.9	46	6.84 （水补6孔）		97小时淹没-350m水平
青山	2	-130 茅口灰岩	290	27000	1800	65	30		突水后60个小时，茹草处塌陷200个洞（距矿井2000m）	60多小时全井淹没

（据《略论煤层底板岩溶水防治》湖南涟部矿务局米亚日资料）

⑦大气降水是矿坑充水主要补给来源，矿井涌水量与降水量关系密切，雨季矿井涌水量一般为旱季涌水量的 2～3 倍左右，降水对矿井涌水量迟后性，各矿井不尽一致，一般迟后 1～2 天。

⑧矿区疏、排水和突水引起矿区外围地面塌陷，导致地表水大量溃入矿井，根据湖南省煤炭科学研究所水文地质研究室1980年湘中岩溶煤矿区地面塌陷情况调查报告，湘中、恩口、桥头河矿区地面塌陷的分布范围：恩口矿区西北翼西到冲店里，东南翼东到胡家井，南到西坪，西南翼西到国庆水库。斗笠山矿区东南翼北到北背，南至泉水排，西南翼发展到伙铺里一带。桥头河矿区西北翼到东冲附近，东南翼南至胡家。

地面塌陷主要集中分布于茅口灰岩地层中，沿走向分布长度达40km（表8－39）。

表8－39

矿　区	恩　口	斗笠山	桥头河
长度（km）	20	40	20

矿井疏排水引起的地面塌陷，其发展的顺序有两种情：一是沿地下水径流带出现，由地下水排泄点或排泄区向疏水中心方向发展；也有的是向远离疏水中心方向发展，即随着疏干漏斗扩展到哪儿，地面坍陷就出现在那里。地面塌陷发展的趋势，一般是塌陷的数量，随着矿井排水，由开始时少，然后逐渐增多，当达到一定高峰后，就有减少的趋势（表8－40）。

表8－40　恩口煤矿地面塌陷点逐年统计表

年　份	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
塌陷点个数	64	81	172	307	705	7315	1145	1135	169

地面塌陷受岩溶发育规律的控制，与构造及水动力带有关，地面塌陷区的分布，多发生在第四系覆盖层厚度＜30m（少数达50m），地表水系发育的河谷洼地，构造断裂众多地段，和地下水天然集中排泄区附近（表8－41）。如恩口矿区的壶天河、木杉河及小碧河一带，据统计到1980年资料，在河床及河床两侧的塌陷点就有3000个，斗笠山矿区龙述河河床也发生许多塌陷，恩口矿区恩口Ⅱ井的三口冲塌陷区，为恩口向斜的翘起端，又有壶天河、三口冲、周家岭断层的存在，斗笠山矿区泉塘处于黄土岭背斜倾伏端，又有泉塘等断层的交叉。

随着地面坍陷范围扩大，数量增多和矿井抽排岩溶水和突水涌出泥砂充填物，导致大气降水和地表水大量溃入，严重损害矿井排水设备，恶化矿区环境，改变矿区水文地质和工程地质条件，不同程度地破坏和污染了周围的自然环境，并增加矿井涌水量，甚至发生淹井事故，例如，恩口、斗笠山、桥头河矿区，截止到1980年，井下溶洞突泥54次，突出泥量1.82万m^3，地表水沿塌陷坑灌入矿坑40次，灌入量5000～8000m^3/d。恩口矿区1990年6月12日至7月2日暴雨期间壶天河河水灌入矿井，水量达10296m^3/h，使恩口一、二两对井矿井涌水量达11250m^3/d，导致淹井事故。

表8-41 恩口矿区地面塌陷与构造及水动力条件关系简表

地　段	构造及水动力条件	面积（km^2）	塌洞（个）	密度（个/km^2）	占百分数
壶天河	褶皱断裂发育天然排泄区	1.35	2900	2148	48.3
山口冲	褶皱发育伴有少量断裂	0.10	900	9000	15.0
横路冲	断层发育天然排泄区	1.30	500	1666	8.3
温　塘	断裂发育天然排泄区	0.03	80	2666	1.3
小碧河西坪段	断裂褶皱发育天然排泄区	0.16	620	3875	10.3
其　它	构造简单	8.00	1000	125	16.8

（据朱亚日）

(3)桂中区　区内上一叠统岩溶含水层充水为主的煤田，主要包括合山、来贵、宜山，百贤宾林等矿区。主要含煤地层为上二叠统合山组（龙潭组）。本区地处广西中部低山丘陵与多沟谷平原区，区内岩溶地形发育、地貌形态为峰丛洼地、峰丛谷地、岩溶丘陵和溶蚀洼地等,溶洞、落水洞、漏斗、地下暗河等各类形态岩溶遍布全区。气候温暖、潮湿、多雨,年最高降雨量达 1862.4mm ,最小年降雨量 867.8mm,年平均降雨量 1200～1400mm ,区内地表水河流相当发育，几乎呈均匀分布的水文网，水库密布，流经煤田的主要河流有红水河与龙江河，均属珠江流域西江水系的与矿区内岩溶含水层有水力联系。

合山煤系由燧石石灰岩，生物碎屑石灰岩和煤组成，厚度变化，在西部百旺、宜山矿区，厚度 200～375m,中部合山矿区为 130～150m，向南至武鸣县一带厚度仅 50～60m,煤层顶板合山组上段灰岩为中等岩溶含水层，煤层底板合山组下段灰岩，为承压强岩溶含水层，煤系上覆地层为上二叠统大隆组和下三叠统罗楼组底部（或下部）隔水岩组，基本上隔绝了上覆厚达 600～1000m 的下三叠统罗楼一北泗组岩溶地下水。煤系下伏上二叠统茅口组及栖霞组在合山、百旺、宜山等区厚达 700～1100m ，向南至武鸣一带受沉积古地理影响变薄为 200～450m ，岩性为含燧石结核或硅质条带灰岩、白云岩，相对来说，茅口灰岩比之栖霞灰岩质比较纯，形成强岩溶含水层。茅口灰岩和合山组下段灰岩间无隔水层。

煤系本身就是直接充水含水层，井下突水主要来自合山组下段石灰岩含水层水，突水点绝大部分分布在四煤层底板，这是桂中地区底板进水为主岩溶充水矿区区别于国内其它同类岩溶充水矿区最主要之处，矿井水补给来源来自大气降水、地面河流和水库，水文地质条件复杂。

现以合山煤田为例，说明本区上二叠统岩溶充水煤田的水文地质特征。

合山矿区位于广西柳州市西南 95km 处，含煤面积约 $260km^2$，含煤地层为上二叠统合山组煤系，含煤 5 层。上覆第四系，中三叠统红高岭组，早三叠系罗楼组与北泗组，上二叠统大隆组，下伏下二叠统栖霞组、茅口组和上石炭统马平群。

合山矿区的构造为东陡西缓，北阔南窄的不对称向斜构造，东翼构造复杂，被一系列走向压性或压扭性逆断层或逆断层组破坏，由于断裂的影响，矿区东南部褶曲发育，褶皱

宽度在 500m 左右，多呈雁行排列（图 8－35）

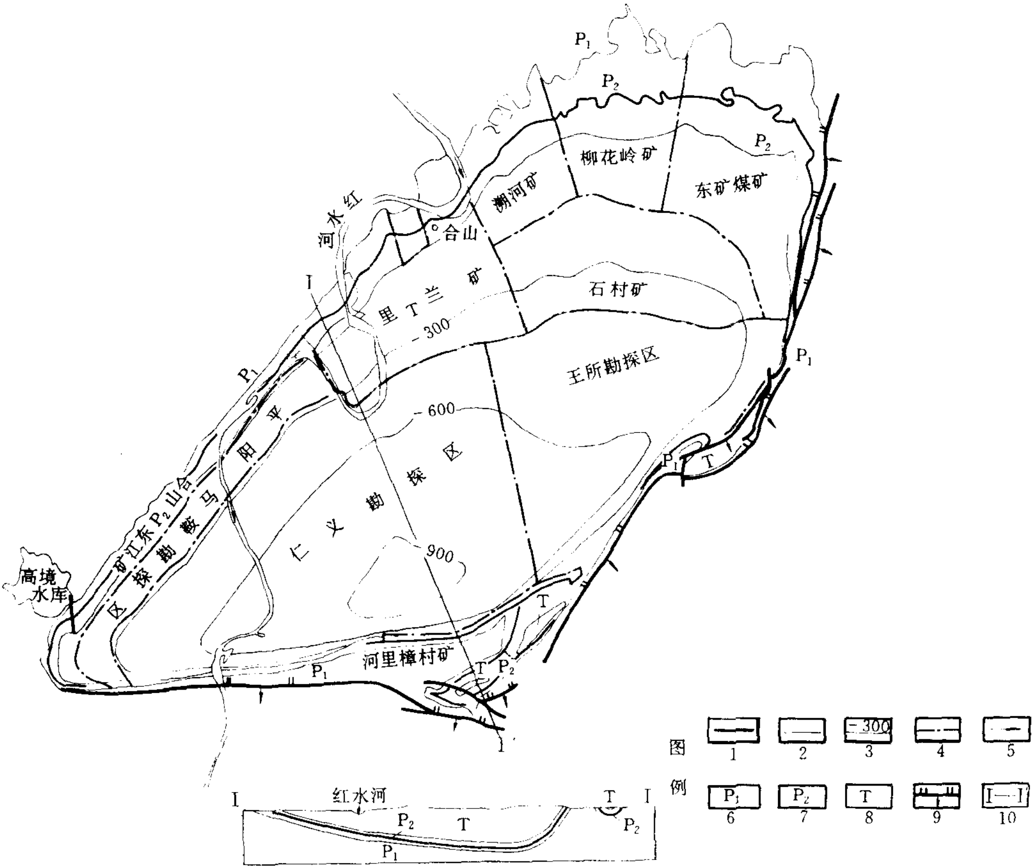


图 8－35　合山矿区地质示意图

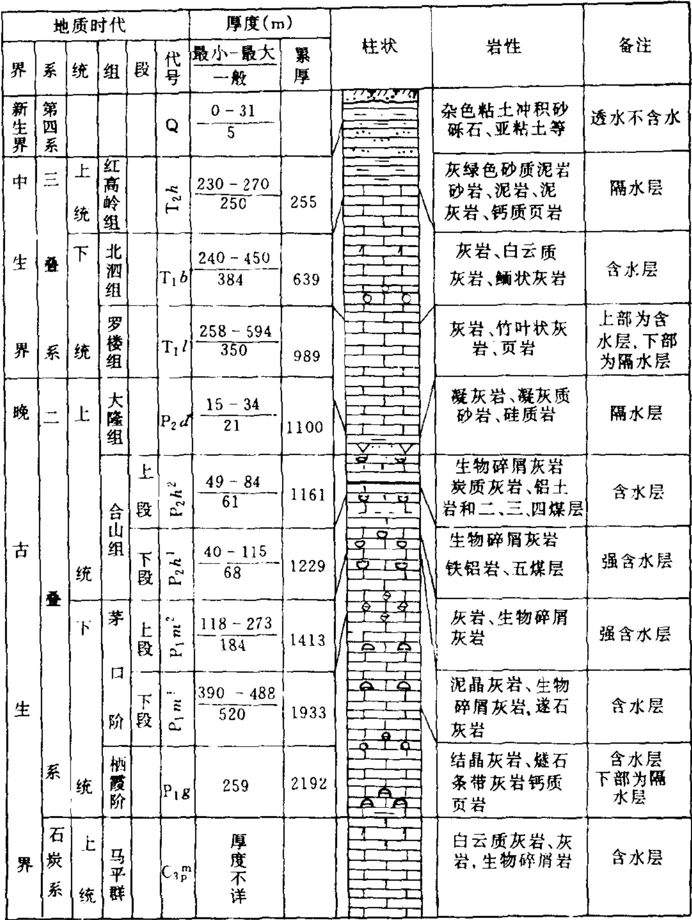
1－煤层；2－地层界线；3－煤层深度标高；4－矿井、勘探区边界；5－河流流向；6－下二叠统茅口灰岩；7－上二叠统合山组大隆组；8－三叠系；9－逆断层；10－剖面线

合山矿区为典型具封闭形态的岩溶盆地，盆地周围主要由上石炭统和下二叠统灰岩组成山地，构成峰丛洼地岩溶景观，峰丛间多为溶蚀洼地，洼地中常有落水洞、竖井等，盆地内为岩溶丘陵和低山丘陵。红水河为本区最大河流，流经矿区西部及西南部，横切煤系地层，流经矿区总长度为 27km，河宽 100～350m，河床呈“V”形，深切多滩，最大流量 $18800m^3/s$，最小流量 $265m^3/s$，红水河为本区最低排泄基准面，河床底标高平均为 30m 左右，该河基本控制了整个煤田岩溶地下水排泄。

矿区水文地质基本特征：

①合山矿区含水层（组），由新至老有：下三叠统北泗组（T_1b）岩溶含水层；罗楼组上部（T_1l）弱岩溶含水层；上二叠统合山组上段（P_2h^2）含水层；合山组下段（P_2h^1）强岩溶含水层，下二叠统茅口组上段（P_1m^2）强岩溶含水层；下二叠统茅口组上段（P_1m^1）强岩溶含水层。由于上二叠统大隆组与三叠统罗楼组下段组成良好的隔水岩组将本区下三叠统与二叠系碳酸盐岩类分隔成上、下两个基本互不相联的岩溶地下水系

统。向矿井充水有影响的是下部岩溶水系统，其合山组上段和合山组下段为直接充水含水层，与合山组下段强岩溶含水层水力联系密切的茅口组上段岩溶含水层为间接充水含水层（图 8-36）。



界	系	统	组	段	代号	厚度(m) 最小-最大/一般	累厚	柱状	岩性	备注
新生界	第四系				Q	0-31/5			杂色粘土冲积砂砾石、亚粘土等	透水不含水
中生界	三叠系	上统	红高岭组		T_2h	230-270/250	255		灰绿色砂质泥岩砂岩、泥岩、泥灰岩、钙质页岩	隔水层
		下统	北泗组		T_1b	240-450/384	639		灰岩、白云质灰岩、鲕状灰岩	含水层
			罗楼组		T_1l	258-594/350	989		灰岩、竹叶状灰岩、页岩	上部为含水层，下部为隔水层
晚古生界	二叠系	上统	大隆组		P_2d	15-34/21	1100		凝灰岩、凝灰质砂岩、硅质岩	隔水层
			合山组	上段	P_2h^2	49-84/61	1161		生物碎屑灰岩炭质灰岩、铝土岩和二、三、四煤层	含水层
				下段	P_2h^1	40-115/68	1229		生物碎屑灰岩铁铝岩、五煤层	强含水层
		下统	茅口阶	上段	P_1m^2	118-273/184	1413		灰岩、生物碎屑灰岩	强含水层
				下段	P_1m^1	390-488/520	1933		泥晶灰岩、生物碎屑灰岩、遂石灰岩	含水层
			栖霞阶		P_1g	259	2192		结晶灰岩、燧石条带灰岩钙质页岩	含水层下部为隔水层
	石炭系	上统	马平群		C_{3p}^{m}	厚度不详			白云质灰岩、灰岩、生物碎屑岩	含水层

图 8-36 广西合山煤田地层综合柱状图

②合山组上段（P_2h^2）岩溶含水层 由中厚层状生物碎屑灰岩、碳质灰岩、铝土岩和煤组成，是主要含煤段，厚度一般 63m，含 煤 4 层，地表发育岩溶漏斗、岩溶洼地、节理和裂隙。深部岩溶主要发育于三煤与四煤层之间，于 -870.25m 水平处仍见到 0.75m 的溶洞存在，钻孔单位涌水量 q 一般 0.003～0.02L/s·m，水 质 HCO_3-Ca 或 Ca·Mg 型，矿化度 216～260mg/L，pH 值 7.45～7.80。该含水层补给量与储存量有限，以顶板淋水形式向矿井充水。

③合下组下段（P_2h^1）强岩溶含水层，中厚层状生物碎屑灰岩、含燧石结核，底部为五煤层及铁铝岩组成。厚度 31～112m，一般 75m。露头区岩溶发育，全区遍布岩溶漏斗，岩溶封闭洼地，天然井、水平溶洞及地下暗河、深部岩溶主要发育在四煤底 40m 范围内，在 -908.79m 仍见溶洞，钻孔单位涌水量 0.028～0.981L/s·m，水质为 $HCO_3-Ca·Mg$

型,矿化度 190～117mg/L,pH 值 7.2～7.3。

合山组下段岩溶含水层，补给条件好，补给量与贮存量都很大，煤层开采中，以突水为主，井下 94%的突水点分布在 4 煤层底板。据不完全统计，截止到 1990 年底止，共发生突水总计有 138 次，其中大于 1000m^3/h 的 20 次，501～1000m^3/h 的 9 次（表 8－42）。

表 8－42　合山矿区突水量、突水次数统计表

矿井 \ 级别	突水点级别（m^3/h）及个数							突水点标高（m）	矿井涌水量（m^3/h）			单点最大涌水量（m^3/h）
	>1000	1000～501	500～101	100～51	50～10	<10	合计		旱季	雨季	正常	
东　矿	8	2	8	2	1	2	23	+60	430		1208	3600
石村矿 大弯弓		1	4		5	1	11	+40			1292	
石村矿 竖井	3	1	6	6	6	2	24	－207	1100*	4500*	3400	3400
柳花岭	2	2	5		6	1	16	+40	428*	3521*	1342	2700
溯河矿	2	2	9	9	15	2	39	－108	1900*	2131*	1521	
东　矿	4		7	3	17	3	34	－273	1900*	2137*	1521	1127
上塘矿 里兰平硐			1	1			2	－9.0		540	130	
上塘矿 上塘			1				1	±0	67	295	60	425
河里矿			6	2			8	±0	550	230	700	
马鞍矿	1	1	5	2	5		14	－135	1740	3460	2460	1270

* 1990年观测数字。

（据广西 150 队）

④茅口组上段（P_1m^2）强岩溶含水层，岩性上部为中厚层状细晶生物碎屑灰岩、泥晶灰岩，与燧石灰岩互层，厚度 113～273m，露头区岩溶漏斗、岩溶洼地、落水洞发育，深部岩溶主要发育在合山组底界以下 50m 范围内，在 －895.87m 仍见溶洞，钻孔单位涌水量 0.184～1.265L/s·m,渗透系数 0.723～18.88m/d,水质为 HCO_3－Ca 或 HCO_3－Ca－Mg 型，矿化度 210～264mg/L，pH 值 7.46～7.6。

⑤合山组与茅口组灰岩岩溶水补给水源：一是来自浅部露头区大气降水通过溶隙的分散垂直入渗和通过溶斗、落水洞、溶井等集中流入补给，二是来自红水河和一些水库水的渗漏补给。红水河流经矿区切割合山组和茅口组灰岩地层的河段长达 18km，合山组和茅口组含水层地下水在这些地段与红水河水发生联系，在雨季河水通过岸边一些发育在四煤层底板的岩溶管道以流入方式补给。尤其是矿井疏排地下水形成的漏斗扩至红水河边，矿井一旦突水，补给强度将大大增强。

⑥红水河基本控制整个矿区岩溶地下水排泄的最低基准面，合山组与茅口组岩溶水在浅部汇集于暗河而流入红水河。在区内存在有八条暗河（表 8－43）。深部岩溶水通过集

中的强径流带以虹吸的形式向红水河排泄。强径流带中岩溶发育，透水性好、富水性强、水力联导性能好，凡是处在径流带的突水点的水量都比较大（表 8－44）。

表8－43　合山矿区暗河排泄基本特征一览表

暗河名称	暗河系统的发育和分布	排泄方向	排泄点所在河	排泄口特征
能　容 牛岭—溯河	发育于煤田西北部补给区、系统分布在红水河的左岸	自北向南	红水河俄滩	显露式、出口有两层
				隐蔽式
山　峨	发育于向斜两翼补给区、系统分布在红水河的左岸主要岩溶通道沿北向西节理裂隙发育	自西向东	红水河马滩	隐蔽式
北　里			红水河十五滩	隐蔽式
鲁　山				隐蔽式
大　潘				显露式
大　隆				显露式出口有三层
高镜—石库	发育于矿区西南部补给区，系统分布在红水河的左岸			

（据广西一○五队资料）

表8－44　径流带突水总水量表

矿井名称	突水点标高（m）	涌水量（m^3/h）	位于的径流带
溯　河	±0 －40 －108	2700 596 1500	峨滩～思光径流带
溯　河	＋58 －30	0～560 0～1400	溯河矿区～石河矿
石　村	－150 －270	0～400 0～3400	区 06 线径流带
里　兰	－76 －83	430 417	峨滩～思光径流带

⑦位于浅部侵蚀基准面以上矿井，大气降水为矿井水的主要充水水源。矿井涌水量与大气降水关系十分密切，溶洞突水点具雨季涌水，来势凶猛，而旱季不涌水的特点。矿井总涌水量雨季与枯季相差一般达 6～8 倍。突水点矿主要突水点都分布在 ＋60m 标高以上，矿井每逢雨季常发生涌水，平硐雨季矿井总涌水量为 $850m^3/h$，而旱季涌水量 $5m^3/h$，斜井雨季最大涌水量为 $2931m^3/h$，而旱季只有 $417m^3/h$。柳花岭矿，其主要突水点都分布在

+40水平以上，矿井旱季时最小涌水量为 4.29m^3/h ，雨季最大涌水量为 3527m^3/h。

二、顶板进水为主的岩溶充水煤田

直接充水含水层位于煤层之上时，地下水主要通过冒落带和裂隙带流入矿井。大气降水、地表水对直接充水含水层的补给，往往局限在煤层分布范围内，间接充水含水层主要通过断层对口部位、不整合、基岩风化带和第四系含水层以侧向或垂直渗透补给，补给量多寡取决于直接充水含水层的导水能力、间接含水层的富水性、出露条件及对口部位范围。矿井涌水量动态随着季节而有变化，若直接充水含水层裸露于地表，而开采的煤层位于地下水位之上或季节带内，大气降水以垂直渗漏方式直接流入矿井，涌水量受大气降水控制，季节变化系数大，暴雨后井下很快出现洪峰流量，常因疏排地下水引起地面塌陷和泥沙溃入矿井问题。

上二叠统岩溶含水层充水为主的煤田主要包括：赣中丰城、高安、安福和赣东乐平等矿区。

主要含煤地层为上二叠统龙潭组。

矿区地处赣中丘陵与赣东山地区，多为低山丘陵，地形相对高差不大，区内地表水河流较发育，流经煤田的主要河流有赣江、抚水、乐安江等四条河流自南、东均汇流于鄱阳河流入长江。气候温暖、潮湿、雨量充沛，年最高降水量达 2673.6mm（1954 年），多年平均降水量 1400mm ，降水多集中在 4～6 月份，约占年降水量的 70%以上，年最大蒸发量 1732.5mm（1955 年）。龙潭组煤系按岩性与含煤性划分为四段，官山段、老山段、王藩里段、狮子山段，由粉砂岩、细中砂岩、泥岩及煤组成。主要含煤段是老山组含 B 组煤，王藩里组含 C 组煤，煤系上覆地层为上二叠统长兴组灰岩、岩溶发育、富水性强，是开采 C 组煤顶板直接充水含水层，水文地质条件复杂，丰城矿区云庄矿开采 C 组煤时，长兴灰岩突水，突水量 6582～19000m^3/h ，矿井被淹，煤系下伏茅口灰岩含水层含水丰富，但距 B 煤组甚远，对开采影响不大。现以丰城矿区为例，说明本区上二叠统顶板进水为主岩溶充水煤田的水文地质特征。

现以丰城矿区为例，介绍如下：

丰城矿区位于丰城市赣江以西，赣江北岸，地跨上塘、曲江、尚庄三镇，东西长 16km，南北宽 10km，面积为 160km^2。区内地缓、平坦、为冲积、洪积平原、丘陵区。气候温暖、潮湿，雨量充沛、赣江流经矿区南部，流量 156～19900m^3/s，水位标高 20.26～31.56m，区内还分布有间歇性杨坑小河、罗湖、皮湖、安子湖等。

含煤地层为上二叠统龙潭组，上覆第四系，第三系渐新统、下侏罗统门口山组，下三叠大冶群，上二叠统长兴灰岩，上二叠统龙潭组按岩性自上而下分四段，王藩里段（C 组煤）可采和局部可采煤 2～3 层，老山段（B 组煤）可采和局部可采煤 3 层，B_4、C_8 主要可采煤层，下伏下二叠统茅口组。

矿区构造形态为北翼完整，南翼被剥蚀，两端被断层等破坏剥蚀的宽缓不对称向斜（图 8-37）。

矿区水文地质基本特征为：

（1）区内与矿区水文地质条件有关的含（隔）含水层组，由新至老有：第四系（Q）砂砾孔隙含水层，第三系渐新统临江组（$E_{2-3}l$）弱裂隙含水层，下侏罗统门口山组

图8－37　丰城矿区地质示意图

1－P_1m 茅口组；2－P_2l 龙潭组；3－P_2c 长兴组；4－T_1d 大冶组；

5－J_1m 门口山组；6－R 第三系；7－Q 第四系

(J_1m）相对隔水层，下三叠统大冶群（T_1d）灰岩溶洞裂隙含水层，上二叠统长兴组(P_2c）石灰岩强溶洞裂隙含水层，上二叠统龙潭组（P_2l）煤系弱裂隙含水层（图 8－38)，其中长兴灰岩强溶洞裂隙含水层对开采 C_{23}煤层（距长兴灰岩底界 10m 左右）和 C_{18}煤层（距长兴灰岩 30m左右）是直接充水含水层，对开采 C_8 煤层（距长兴灰岩底界 80m左右），是间接充水含水层。上二叠统龙潭组煤系弱裂隙含水层对开采 C_8 煤与 B_4 煤是直接充水含水层。

(2) 丰城矿区上二叠统长兴灰岩强溶洞裂隙含水层分布于矿区中部，呈东西条带状展布，并被第四系坡积，洪积、冲积物填平的岩溶洼地。东部与下侏罗统门口山组砂、泥岩类相对隔水层呈不整合接触，北部为龙潭组煤系地层组成的单斜山岭，山岭走向 NE～NEE 呈弧状，南部长兴灰岩深埋于下三叠统大冶灰岩、下侏罗统及第三系砂泥类地层之下，岩溶发育逐步减弱，西部发育若干条正断层，使长兴灰岩与煤系地层不存在水力联系，故形成了四面阻水的封闭岩溶水系统。

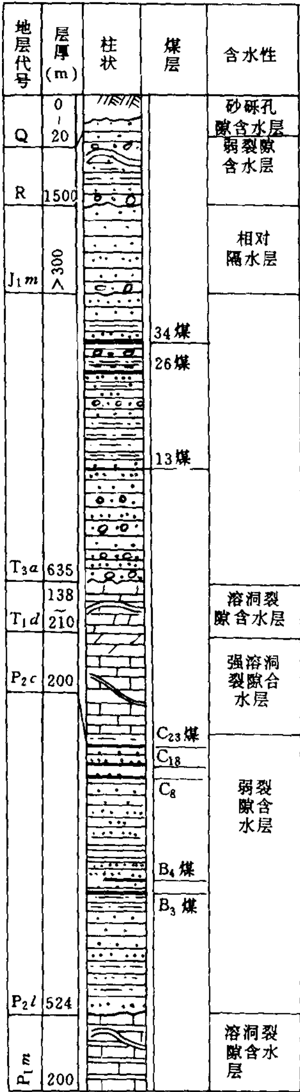


图8-38　丰城矿区地层含水性示意图

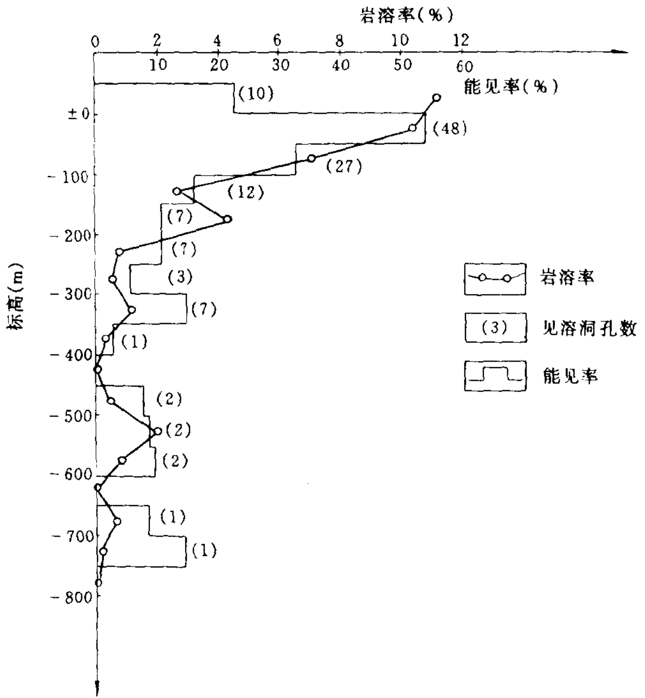


图8-39　丰城矿区长兴灰岩岩溶率随深度变化曲线图

(3) 长兴灰岩岩性为浅灰色厚层状细晶质石灰岩，厚约 220m，在露头地区由于溶蚀形成岩溶洼地，最深处可达百余米，多被细砂砾石所充填。钻孔揭露地下岩溶十分发育，岩溶发育具有顺层性，一般沿着灰岩底板或沿着与灰岩底板附近平行的某些层面发育，溶洞大而多，单个溶洞高度最大达 39.13m（CK29 孔）。溶洞间有贯通现象，岩溶发育向深度有逐渐减弱现象（图 8-39）。全区约有 70%以上溶洞集中在浅部。含水性特点是差异性大，并和岩溶发育强度关系明显，含水性随着岩溶发育强度加大而增强，据全区抽水资料，单位涌水量 $q=0.00029\sim22.98$L/s·m，水质为 HCO_3-Ca 型，pH 值 7.25~8.36，总矿化度为 0.181~0.337g/L。

(4) 长兴灰岩岩溶地下水主要补给来源为第四系水、大气降水及地表水通过第四系间接补给长兴灰岩水，局部地段由于断层作用，可接受大冶灰岩地下水的补给。其补给区主要位于上二叠统龙潭组煤系分布范围内长兴灰岩组成的溶蚀洼地区。其区内上覆第四系，最厚达 186m，相坑小河自西流过，雨季洪水期，河水位上升，形成内涝，河水补给第四系水，长兴灰岩水，长兴灰岩水地下径流畅通，径流方向自西向东流，在东部下侏罗统不整合接触边界以泉形式排泄，据不完全统计，年平均排泄量 102.4L/s，该含水层威胁着 C_{18} 与 C_{23} 两个煤层的安全开采。矿区水文地质类型可划分为两个类型， B 组煤与 C_8 煤属裂隙含水层充水为主的矿区，水文地质条件简单，C_{18} 与 C_{23} 两个煤层属顶板进水为主的岩溶含水层充水为主的矿区，水文地质条件复杂。

第五节　巨厚松散层覆盖下以裂隙含水层充水为主或岩溶含水层充水为主的煤田

本类煤田为巨厚松散层覆盖下以裂隙含水层充水为主或岩溶含水层充水为主。分布于我国东部的黄淮平原，华北平原、松辽平原及三江平原之中，主要包括河北的开滦、蓟玉，鲁中南的济宁、兖州、滕县，豫东的永夏，江苏的大屯和安徽的淮南、潘谢、淮北和黑龙江的绥滨、集贤等矿区。

第三纪以来，本区急剧下降，形成了许多湖盆，沉积了很厚的第三纪地层；第四纪以来，又长期表现为以下降为主的缓慢升降运动，在石炭一二叠系煤系之上，沉积了巨厚层的松散地层。新生界沉积厚度的总趋势和本区 NNE 向构造线一致。在华北平原，天津、交河、临清一带厚度在 2000m 以上，往东、西逐渐变薄。郑州一商丘一带，可能受纬向构造的影响、沉积方向变为东西、厚度在 4000m 以上，在矿区范围内，新生界地层最大厚度达 700m（潘谢矿区),在山东北部和西南部厚度约 100～200m，河南东部与安徽北部一般厚约 300m，江苏北部厚约 200m（表 8－45)。

区内地形地貌为山麓平原、冲积洪积平原，地势平坦，海拔多在 100m 以下，自西向

表 8－45

矿　区	井　田	新生界平均厚度(m)	矿　区	井　田	新生界平均厚度(m)	矿　区	井　田	新生界平均厚度(m)
淮　南	谢　桥	356	大　屯	张双楼	242	兖　州	鲍家店	176
	顾　桥	417		三河尖	161		兴隆庄	180
	潘　集	396		龙　东	195		丁　村	96
	张　集 王　庄	194～467 (最薄)(最厚)		孔　庄	156		里彦庄	145
	刘　庄	120～550 (最薄)(最厚)		姚　桥	174		北宿区	53
淮　北	桃　园	280～300	滕　县	南郊区	75	永　夏		312
	任　楼	240～300		柴　里	80	开　滦	东欢坨	149～641 (最薄)(最厚)
	界　沟	280	济　宁		210	蓟　玉		88～500 (最薄)(最厚)

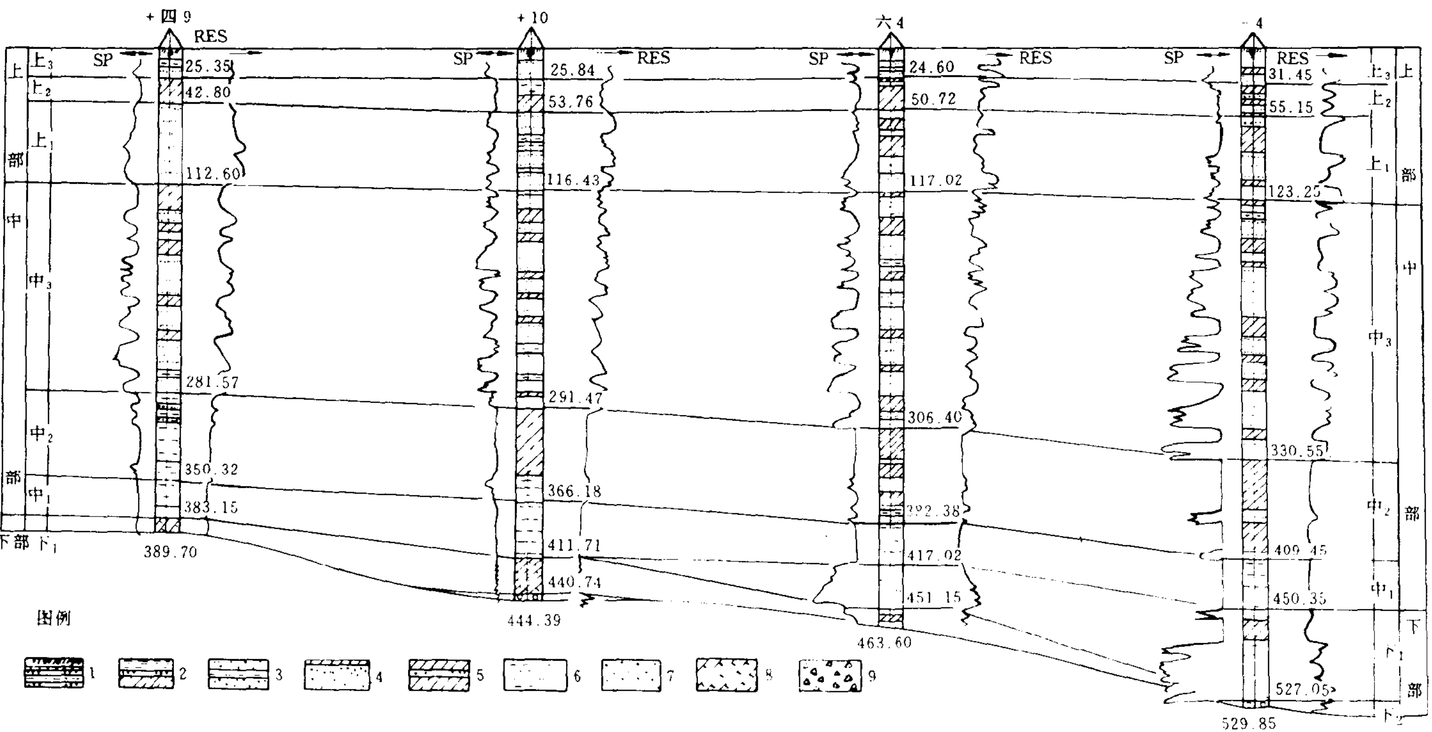


图 8-40　淮南煤田顾桥井田新生界地层对比示意图

1-上$_3$含水组；2-上$_2$隔水组；3-上$_1$含水组；4-中$_3$含水组；5-中$_2$弱隔水组；6-中$_1$隔水组；7-下$_3$含水组；8-下$_2$隔水组；9-下$_1$碎石层

东缓倾斜。

气候属暖温带、亚湿润一半干旱大陆性气候，降水集中（6、7、8）三个月，占全年降水量的60%～70%.

流经华北平原（包括黄淮平原）的河流有黄河、海河、滦河及淮河诸水系，由于受地势的控制，诸河总的流向是从西北向东南或西南向东北流向渤海。

煤系上覆巨厚松散层是多含水组与相对隔水组相间的松散含水层组，一般可划分为上、中、下三部分，4～5个含水（层）组，3～4个相对隔水（层）组，如淮南煤田顾桥井田新生界松散层最大厚度576.00m，自下而上划分为三部分和四个含水组、四个隔水组和一个碎石层（图8－40）。上部浅层含水（层）组受大气降水与地表水补给，因相对隔水层存在，有效地阻隔了煤系地层基岩各含水层与大气降水及地表水的直接联系。

中、下部含水组是煤层顶板以上砂岩裂隙水和底板以下薄层灰岩岩溶裂隙水的主要补给水源，也是矿井间接充水含水层，其补给途径主要是：

(1)在中、下部相对隔水组变薄、尖灭或基岩古地形隆起局部地段，中、下部含水组通过基岩风化带沿着煤层顶板与底板中砂岩与薄层灰岩含水层顺层渗入补给。如淮北煤田百善井田新生界覆盖层最大厚度175.6m,平均厚140m，自上而下划分为三个含水层，三个隔水层，井田内有四个三隔沉积缺失区，使三含与下部基岩含水层水力联系密切（图8－41）

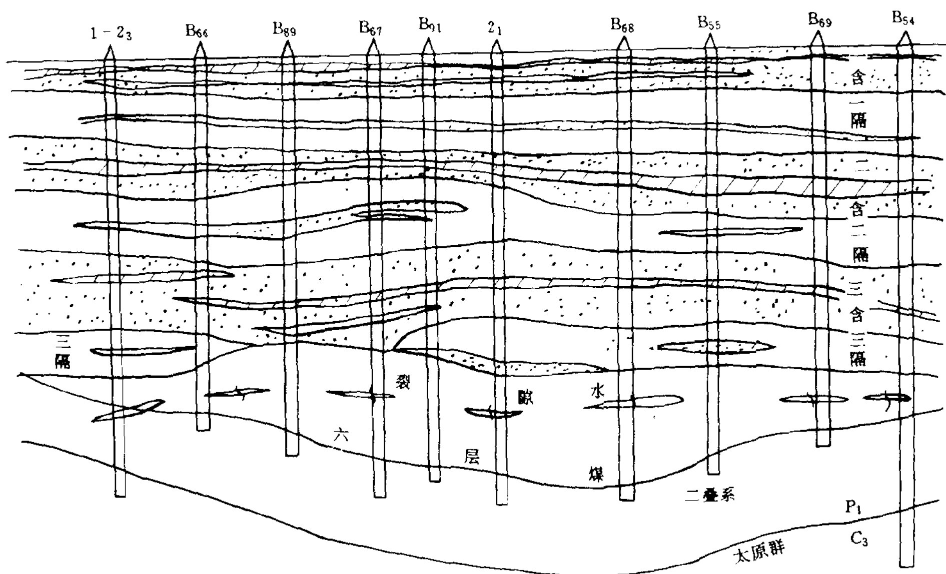


图8－41　百善井田松散层及煤系含水层沉积特征

（2）通过浅部采后冒落带和裂隙带，中、下部含水层直接流入矿井当巨厚松散含水层组底部为含水组时，往往形成底部含水组、煤系各含水层与基底奥陶系石灰岩含水层三者发生水力联系，可沟通奥灰水向矿井充水。例如，开滦东欢坨矿，第四系底部卵砾石，含水层超覆在基岩含水层露头上，与大面积隐伏的奥灰含水层水力联系密切，当矿井排水后，第四系底部卵砾石含水层水因矿井排水降低水位后，奥灰水首先以顶托方式补给冲积层，然后，再通过冲积层的下渗补给煤系各含水层（图8－42)。

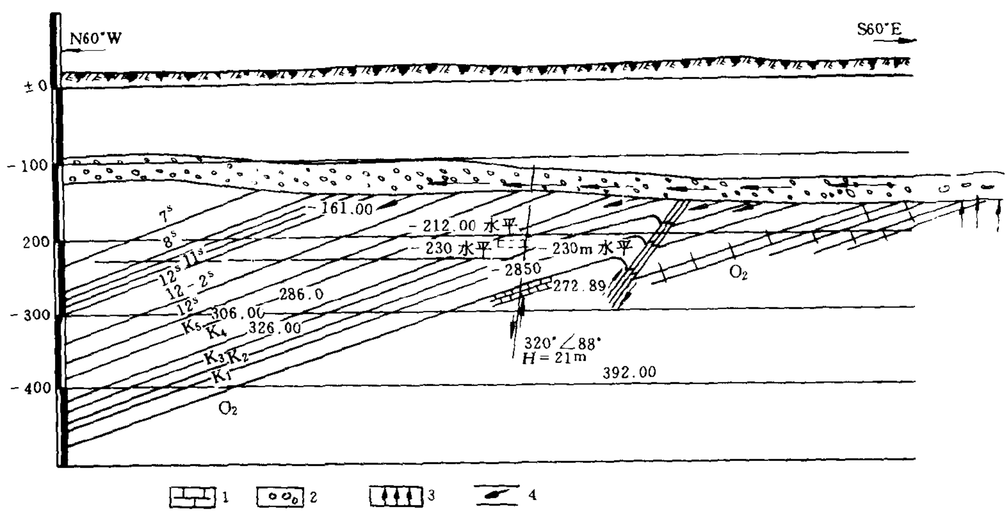


图8-42 东欢坨矿第四系底卵石煤系含水层奥灰含水层补给关系示意图

1-奥灰岩含水层；2-第四系底部卵石含水层；3-奥灰水顶托补给第四系底部卵石含水层；
4-奥灰水通过底部卵石含水层下渗补给煤系含水层

表8-46 濉萧矿区生产矿井涌水量统计表

矿井名称	井型（万t/a）	开采水平（m）	投产日期（年、月、日）	矿井涌水量（m³/h）			含水系数	矿井充水主要水源
				最大	最小	一般		
孔　庄	45	-140 -280	1960.1.1	400		300	5.7	煤层顶板砂岩水、-140炸药库底板灰岩水
袁　庄	45	-150	1959.12.30	300		200	2.8	三煤顶板砂岩水、井筒淋水
孟　庄	30	-200	1975	82	50	65		三煤顶板砂岩水和井筒淋水
毛营孜	21	-150	1977.12.30			60		风化带和三煤顶板砂岩水和井筒淋水
朔　里	60	-200	1971.7.1	220	100	160	1.8	三层煤顶板砂岩水
石　台	60	-250	1975.12.25	90	70	80		三层煤顶板砂岩水
朱　庄	75	-150 -250	1961.10.15	400		300	2.8	三层煤顶板砂岩水井筒淋水
张　庄	60	-150 -250	1960.12.24	240		160	1.2	三层煤顶板砂岩水
岱　河	60	-250	1965.12.25	220	130	170	1.5	三层煤顶板砂岩水
相　城	21	-145 -256	1962.3.15	300		150	6.7	煤层顶板砂岩水
杨　庄	90	-180	1966.5.3	280		150	0.8	煤层顶板砂岩水，火成岩裂隙水，井筒淋水
烈　山	45	-145 -270	1959.12.31	995		400	6.10	煤层顶板砂岩水，火成岩裂隙水，井筒淋水

（据淮北矿区各井田精查地质报告资料）

矿井涌水量与变化趋势，与新生界含水层组底部含水组的补给量与储存量及直接充水含水层渗透性有关，一般是：

当底部含水组薄，补给量与储存量不很大时，直接充水含水层渗透性弱，则矿井涌水量初期不大，随着时间增长，很快接近半疏干状态。例如淮北矿区濉萧矿区十二对生产矿井涌水量一般 $100\sim300m^3/h$，最大值 $995m^3/h$，生产井含水系数一般 $1\sim3$（表 8－46）。煤系地层砂岩突水点的突水量一般在 $30\sim80m^3/h$，个别突水点的突水量达 $127m^3/h$，突水特征是开始水量大，随着时间增长，水量逐渐减小，一月后多变为滴水或干涸无水（表 8－47）。矿井长期排水后，煤系地层含水层水位已普遍下降，如张庄、岱河等矿 1957～1959 年勘探时静水位为 1～7m，各矿井长期排水后，1963～1965 年施工的勘探孔，其水位已降至 22.26～111.22m。

当底部含水组补给量与储存量十分丰富，直接充水含水层裂隙发育，渗透性强，则矿井前期的涌水量相当大，增长的幅度和速度比较大，而直接充水含水层水位降的速度和幅度却比较小，松散含水层组水位降不明显或很少，经过一个时期的疏水，涌水量及水位可基本稳定下来，如开滦唐家庄矿徐家楼区（图 8－43）。



图 8－43　唐家庄矿、徐家楼新区涌水量与水位变化关系曲线图

①－涌水量；②－冲积层水位；③－煤 $_5$ 含水层水位

当底部含水组补给量与储存量较丰富，基岩含水层的储存量也较大，而直接充水含水层裂隙不发育，渗透性弱，则前期水量可能相当大，后期经过一段时期的疏放水，涌水量和直接充水含水层水位都将有大幅度的下降，从而使底部含水组与直接充水含水层之间的水位形成上百米的差值，如开滦唐山矿两翼新区 5 煤层顶板水（图 8－44）。

煤田开发过程中，存在着浅部新生界含水层组水砂溃入问题（表 8－48）和基底奥灰水通过断层破碎带和陷落柱突入矿井，因水压高，突水量大，但岩溶水主要补给是煤层上覆的新生界含水层组水，如 1984 年 6 月 2 日开滦范各庄矿 2171 综采工作面突水，突水量达 $2053m^3/min$，根据开滦矿务局资料，从 1984 年 6 月 2 日到 1985 年 6 月 13 日陷落柱彻底封堵排水复矿为止，松散含水层组水位有较大下降（图 8－45）。从图上可看出冲 $_{11}$ 孔从 6 月 3 日的上午发现水位有明显的下降，到 6 月 6 日 16 时下降基本稳定为止，共下降了 9.45m，在这期间，6 月 4 日 10 时奥灰水位开始回升，井下突水量为 $750m^3/min$，以后基本稳定在 $500m^3/min$ 左右，此时，松散含水层组底部含水层水位仍在继续下降，直到 6 月 6 日以后长时间没有回升，这情况表明，本次突水的主要补给水源来自上覆巨厚松散含水层组。

表 8-47 濉萧矿区生产矿井主要突水点表

矿名	突水时间（年、月、日）	突水地点	突水量（m^3/h）	水量变化情况	备注
沈庄	1975.11.19	232 工作面三层煤层顶板砂岩突水 -220m 水平	45	开始水量大，很快减至 $20m^3/h$，以后逐渐减小	
	1971.3	南翼井底车场（-140m）大巷底板出水	60	水量一直稳定在 $60m^3/h$ 左右	系底板石灰岩水
孟庄		南运道 280m 处遇断层在火成岩中出水	17	突水几天后，水量干涸无水	
袁庄	1975.1.15	东翼采区 3112 工作面三层煤顶板砂岩突水	130	突水五天后（水量为 $80m^3/h$）以后逐渐减小趋势	
朔里	1972.12.27	西 314 工作面放顶后三层煤顶板砂岩突水	60	突水后水量减小，但水量减小幅度不大，到 1975 年 11 月 10 日水量为 $4.4m^3/h$	
	1974.9.6	西 375 工作面放顶后三层煤顶板砂岩突水	44.10	突水后水量有减小趋势，但幅度不很大，1975 年 11 月 10 日测定水量减至 $19.4m^3/h$	
石台	1974.11.5	北一采区南翼链板机巷 4 测点前 7～8m 处突水	67	12 小时后水量仅有 $7.3m^3/h$，以后变为滴水直至干涸状态	
	1974.12.2	南一采区南翼链板机巷于联络斜巷突水	40.68	12 小时后，水量减至 $3.42m^3/h$，并逐渐变为滴水和干涸	
岱河	1963.9.4	-250m 水平北大巷三层煤顶板砂岩突水	111	1963 年 9 月 29 日水量减至 $52.8m^3/h$，1965 年 5 月为滴水状态	
	1964.3.22	北二采区运输机下山冒顶三层煤顶板砂岩突水	53.76	突水后水量稳定 $45m^3/h$ 一段时间，水量连续 8 年，现已干涸	
张庄	1964.12.17	-160m 水平大巷三层煤顶板砂岩突水	127	六天后水量为 $51.1m^3/h$，1966 年 6 月水量为 $5～6m^3/h$	
	1965.3.30	同上	61	三天后水量为 $50.8m^3/h$，1966 年 6 月水量基本消失，仅有滴水现象	
朱庄	1973.1.4	-250m 水平南大巷穿任圩向斜时冒顶后突水	150	一星期后水量减为 $60m^3/h$，以后水量逐渐减小，1975 年底尚有水量 $10m^3/h$ 左右	
	1973.4.10	-150m 水平 339 工作面回采放顶后，三层煤顶板砂岩突水	80	一星期后水量减为 $10m^3/h$，随时间增长，水量明显的减小，现已干涸	
杨庄	1975.12.29	六四石门 -180m 迎头石下底切眼出水	30	1976 年 1 月 6 日，水量为 $18.58m^3/h$，到 1976 年 1 月 16 日水量为 $8.54m^3/h$	
	1976.4	八采区上山遇未封闭好的 D41 号孔突水	350	突水后，水量稳定在 $290m^3/h$	系太原组灰岩水
相城	1973.5.24	-250m 大巷底板遇 F5 断层处发生突水	729	开始最大突水量 $728m^3/h$，以后稳定在水压 $27kg/cm^2$，次日 -250m 水平全部被淹没	因 F5 断层影响灰岩水经断层溃入坑道

总的来看，煤系砂岩和薄层石灰岩含水层地下水处于较封闭环境，地下水循环交替差，径流缓慢，含水层水质垂直分带明显，矿井涌水量变化趋势反映出以消耗贮存量为主，矿井疏排水量，实质上是疏排煤系上覆巨厚松散含水层组水，煤田水文地质条件中等至复杂。

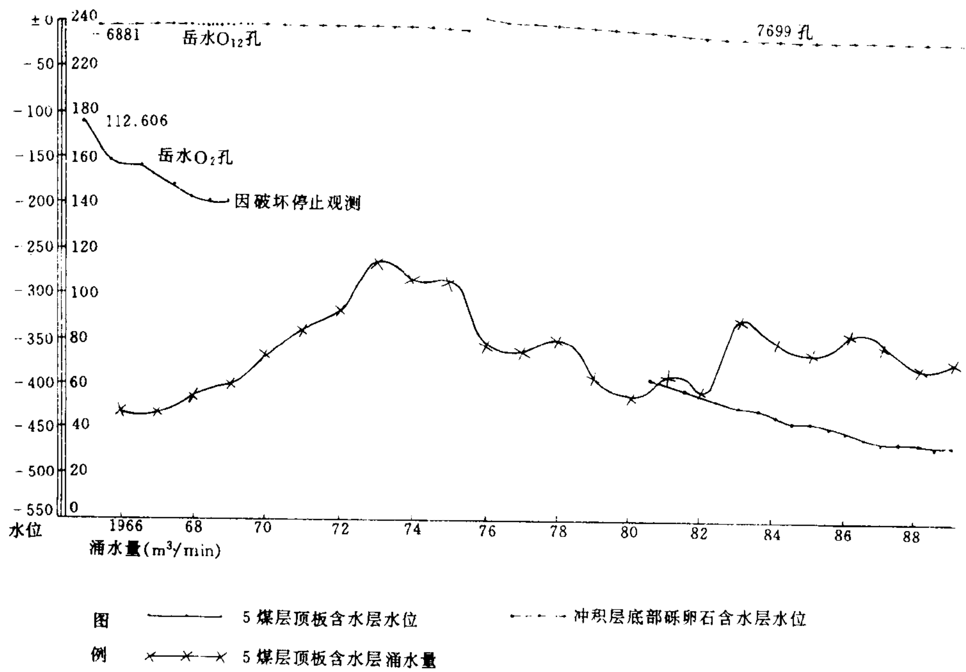


图8-44 唐山溶 冲积层 5煤层顶板含水层地下水与涌水量关系曲线图

（据开滦矿务局）

表8-48

矿　名	时　间	松散含水层组厚度(m)	煤岩柱垂　高(m)	煤　厚(m)	倾　角(°)	事故情况
开滦唐山	1959.10	180	100	16	90	水砂溃入
开滦唐家庄	1959.10	40			16	水砂溃入大巷淤塞 150m
开滦唐家庄	1960.7	50	18	3～3.5	15～21	水砂溃入
淮北烈山	1959.7	43		18	18～25	水砂溃入
开滦唐山	1961.7	180	90～110	16～23	90	水砂溃入巷道 60m
淮南孔集	1973.11	37～43	60.5			水砂溃入 1.54m^3/h

（据刘刚峰、王梦玉）

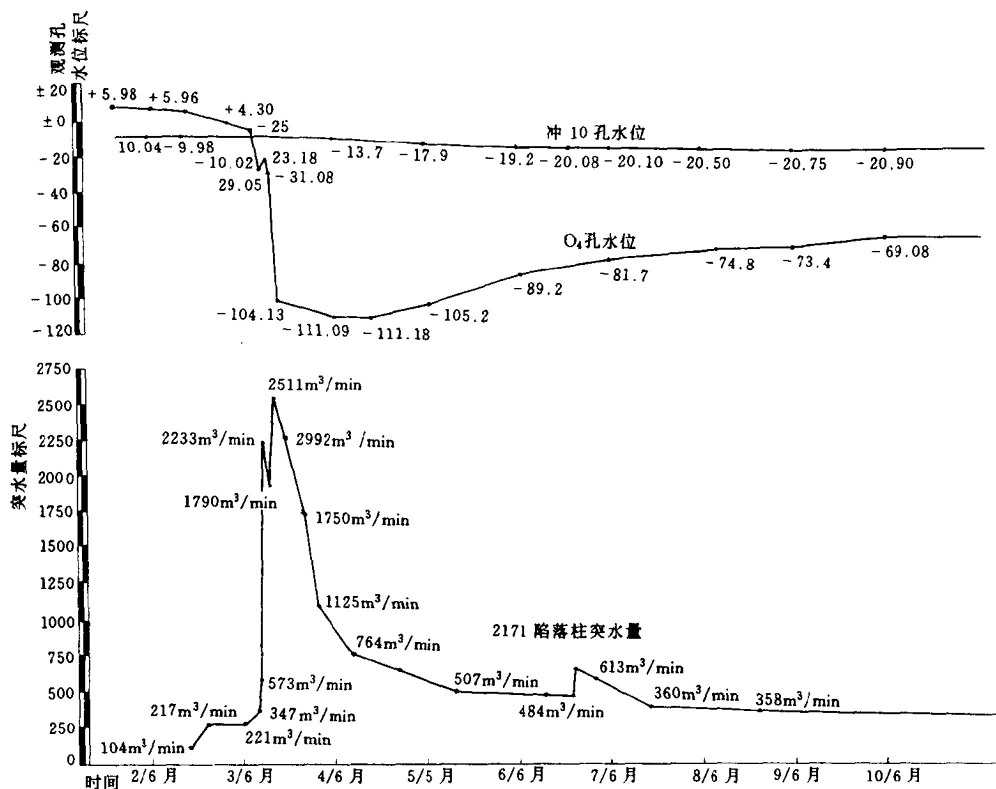


图 8-45 范各庄矿 2171 突水量与奥灰含水层、松散含水层、底部含水层水位变化关系曲线图

（据开滦矿务局）

第九章　煤矿环境地质问题

第一节　　煤矿开发的环境效应与环境条件概述

社会的发展，对环境保护的要求愈来愈高。煤矿开发不仅仅改变了矿区浅部的地质环境。而且随着煤炭的流向，在煤炭的加工和利用的同时把环境影响扩展开来。煤矿开发的环境问题是煤矿开采和煤炭利用过程中人和环境的相互作用和影响问题。煤矿开发的环境条件和煤炭开发和利用的环境效应，不仅关系到矿山的经济技术效益，也制约着煤炭工业的发展，是一个带战略性的问题。其中，地质环境条件是决定矿山开发环境效应的基础条件。我国的煤矿开发的环境问题有以下主要特点。

（一）煤矿床开发和利用的环境效应不仅仅是煤矿区自身的问题，而且是一个极为广泛极为深刻的社会环境问题

我国煤炭资源丰富，煤矿数量多，分布广，开发规模和强度大，煤炭产量居世界前列，是世界少数几个以煤炭为主要能源的大国之一，煤炭在一次能源的生产和消费结构中占70%以上，而且在很长时期内，不会有重大变化。由于煤矿遍布各地，煤矿的建设和开发将在大范围内改变矿区地壳浅部的地质环境条件，造成一系列的环境问题，对矿区产生直接的、显著的影响，其影响范围通常要比采矿的活动范围广大得多。更重要的是煤炭开发对环境的影响不仅表现在矿区建设和煤炭开采过程中，而且还表现在煤炭的加工和利用过程之中。在我国，煤炭的用户多，工农业生产和人民生活都离不开煤炭，煤炭产量的80%左右被作为燃料烧掉，大气烟尘的绝大部分来自煤炭的燃烧，煤炭燃烧产生的 CO、CO_2、SO_2 以及其它有害气体是我国大气污染的重要和广泛的来源，是一些地区形成酸雨的重要原因。此外，煤炭开采中排人大气的甲烷，每年在10亿m^3 以上，许多矸石山和煤层露头区的着火自燃也造成明显的社会环境影响。从现状来看，煤矿开发和煤炭利用所造成的环境影响已不容忽视，已经成为我国煤炭工业发展的重要影响因素。今后国民经济的持续发展，煤炭产量的持续增加，对环境的影响更为突出，势必成为重要的制约因素。煤炭用户的性质、分布，煤炭利用的数量、质量，常常关系着对环境影响的程度和性质。要减少和避免煤炭开发与利用对环境的有害影响，不仅要求煤矿建设有一个合理的布局，而且还得有合理的生产和消费结构。根据煤炭的质量，合理安排煤炭的用途和流向，采取建设坑口电站，开展煤炭深加工，减少污染物含量等办法达到有效地保护环境的目的。但这是一个涉及煤炭产、供、销、运、加工和利用的复杂性的社会系统工程，是全社会环境保护体系的重要组成部分，逐步解决好这些问题是保证今后煤炭工业顺利发展的一个重要条件。但是，首先作好矿区的环境地质工作，提供必要的资料依据，这是最基本的工作。

（二）煤矿区环境地质问题多而且复杂，长期以来一直是制约矿山经济效益的重要因素，而且随着采矿规模、强度的增加，问题将更为突出。

我国煤矿开采历史悠久，环境地质问题也一直比较突出。大规模的采掘活动必然会改变地壳浅部的地质条件和矿区的水文、气候条件、生态环境和地貌。矸石山是矿区典型的人工地貌，煤矿现存矸石达 30 多亿吨，每年以 2 亿多吨递增；地面沉陷常常是采空区普遍的现象，由于开采煤炭引起的地面沉陷破坏及排土场矸石场等占地已达 3.2×10^6 ha，每年还以 2.2×10^4 ha 递增；矿区长期疏排地下水和污水排放，可能导致水源地和水资源的破坏，造成水质污染，煤矿年排出矿井水约 22 亿 t，很多为高矿化度、酸性、高悬浮物水，年排放煤泥水 2800 万 t，对当地的地下水、地表水及生态环境影响明显；矿区排水和开采地下水也可能形成地表下沉或者塌陷，破坏农田，道路和地面建筑；采矿活动可能诱发崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害；在煤矿开采历史上还多次发生过由于采空区煤层顶板大面积的突然冒落等原因诱发的人工地震，震级可达 3 级左右。

煤矿开发一方面改变着地质环境，另一方面地质环境条件也是矿山开发经济效益的重要制约因素。由于采矿环境地质条件不利等原因，常常形成矿山灾害，瓦斯爆炸、瓦斯和煤岩突出、突水、冒顶以及地压、地下热害等等都是煤矿开发过程中经常发生的地质灾害，危及矿山安全开采，造成人员伤亡和重大经济损失。 1984 年开滦范各庄煤矿岩溶陷落柱突水淹井，水量达 2053t/min，为世界采矿史上所罕见，突水造成数百平方公里范围内地下水位的大幅度下降。据不完全统计， 1956～1985 年间共发生煤矿突水 773 次，淹井 222 次。至于瓦斯爆炸，瓦斯和煤岩突出以及冒顶事故则往往给煤矿开采带来更为严重的危害，在 1986 年底，我国共有煤与瓦斯突出矿井 274 对，历史上已发生煤与瓦斯突出 11460 次，煤、岩与 CO_2 突出 25 次以上。煤矿开采的环境地质条件早已是影响煤矿生产的极为重要的因素。

随着煤矿开采规模、开采深度和强度的增大，对地质环境的质量要求也在提高，对地质环境的改变程度也在加剧，原来已经存在的许多环境地质问题（如突水、瓦斯、地压及地热等）将更加突出，要保证矿山建设和生产的正常进行，有效地避免各种地质灾害，就必须查明矿山开采的环境地质条件，减少其不良影响。

（三）从煤炭工业发展战略上讲，环境地质问题更应予以重视

环境地质条件对煤炭工业的制约作用不仅仅表现在由于煤矿的开采深度、强度和规模的扩大而使环境地质问题更为突出起来，更重要的是环境地质条件将对煤炭工业的发展战略部署产生深刻的影响。

我国煤炭资源分布，东少西多，南少北多，主要分布在西部地区，已探明的资源则集中在晋、陕、蒙、宁地区以及南方的贵州、川南、滇东。但是，煤炭的需求量最大的地区是东部，煤炭资源的分布决定了我国煤炭工业建设的重心必然要逐步西移。但煤炭工业战略西移是一个长期的渐进过程。东部地区开发早，资源紧缺，煤炭需求量大，供需矛盾突出；西部地区开发需要创造条件，需要时间。故稳住东部才能保证战略西移的顺利。稳住东部的办法除了加强东部地区找煤之外，解放东部地区受底板岩溶水威胁的煤炭资源和新生界松散层下压煤，同时尽量提高煤炭资源的回收率是十分重要的。

华北、华东地区的 CP 煤田是我国目前最主要的煤炭产区，产量高，战略地位重要，但是其下部煤层普遍受岩溶水威胁，受水威胁的煤炭总储量在 160 亿 t 以上。历史上这些矿区多是采上组煤而置下组煤于不顾，但是今后许多矿区如不转而开发下组煤层，则矿山稳产和接续就没有出路，而且下组煤层的含硫量普遍高于上组煤层，只采上组煤的结果必

然影响到煤层的合理配采和利用。逐步解放这些受水威胁的煤层，形成合理的生产和消费结构比例，对于煤炭工业的正常发展和环境保护将有积极意义。一方面下组煤的含硫量较高，煤的利用对环境影响程度增加，同时，矿井突水的可能性增加，疏排水量加大，对矿区环境的影响加剧，矿山开采的环境地质条件变差。故，研究下组煤开发的环境地质条件和矿区环境影响是我国东部煤炭工业发展的重要课题。

我国东部还有许多松散覆盖层下的隐伏煤田，煤层多而倾角小，以往开采浅部煤层时，多采用留设防水煤柱的方法来防止新生界水进入矿坑。据估计，仅露头煤柱压煤量约50亿t，以条件分析来看，如果采用加大排水能力，缩小煤柱尺寸或进行采区疏干等综合措施，解放出一部分或大部分压煤是完全可能的，对于提高矿山经济效益和资源回收率有积极作用。但是，由于近几年来，在华东厚松散层覆盖区接连发生了多次井筒破裂事故和地面下沉问题，对于大量疏排松散层底部地下水与井筒破裂间的关系以及预防措施是一个值得研究的环境地质问题。

2000年以后，我国东部地区可供建设新井的资源不多，而且开采技术条件多比较复杂，特别是松散层厚度过大，瓦斯、地压、地温过高，顶底板管理困难将成为影响矿井正常开采的重要因素，使得环境地质条件成为东部矿山开采的特别重要的影响因素。

煤炭建设的重心西移，重点建设地区将在晋、陕、蒙、宁地区，这些地区水资源贫乏，矿区供水问题突出，而且当地水资源在矿区开发过程中易受破坏和污染，同时矿区的生态环境脆弱，问题较大。开发晋、陕、蒙地区的煤炭资源必须将采煤、保水和生态环境保护作为一项系统工程来对待，地质环境质量和容量，特别是水资源和生态环境的承受能力将是这些地区煤炭工业发展的重要制约因素。

此外，由于矿井开采强度和机械化程度的迅速提高，煤矿开发对地质工作程度的要求也迅速提高，对小构造、煤层稳定性和开采技术条件的探查程度提出了许多新的和更高的要求，如果可能有效地提高工作程度，妥善解决大规模的机械化生产与环境地质条件查明程度之间的日益尖锐的矛盾，则势必给煤矿生产带来许多被动。

（四）矿区环境保护应当和提高矿山经济技术效益结合起来

矿区环境保护必须和提高矿山经济技术效益结合起来，才能取得更好的效果。这一点在许多矿区许多方面都可以做得很好，关键在于得有正确的指导思想和有效的管理，如以下几个方面。

(1) 矿井水的综合利用和矿区地下水的排供结合，统筹规划，既有效地保护了水资源，又减少了矿井的排水费用，同时对保护矿区环境也有重要作用。其中，矿井水的综合利用，许多矿井都可以做到。矿井排水将地下水从井下提升到地面，已经给其利用提供了较为经济的前提，只要在水质保护或处理上投入适当工作，矿坑水的利用则在经济上常常是合理的，矿井水资源化工作已引起广泛重视。

(2) 进行煤矿的综合开发，开发原煤的下游产品，进行煤炭深加工，开展瓦斯抽放和煤矸石综合利用，有条件的地区建立坑口电站。

(3) 改善煤炭生产布局，形成矿区煤层的合理配采及利用。

在煤炭生产中保护优质无烟煤和煤焦用煤是一个重要方针，根据煤质及煤的用途合加以利用不仅对保护煤炭资源有利，也是环境保护所应该考虑的，其中既需要有有效的宏观调控，又要充分利用市场机制，和矿山效益结合起来。建立坑口电站对煤电双方均有

利，问题是电厂供水是否可以解决；原煤进行洗选或其它方式的深加工后，既改善了煤质，减少了直接燃烧原煤的环境影响，经济效益也已以提高；按照用户对煤炭数量和质量的要求，建立较稳定的供销关系，有利于采取环境保护措施；煤矸石如果能综合利用，则减少了占地，避免了矸石山淋滤、自燃，扬尘给矿区环境的影响；矿区瓦斯的抽放，既有利于矿井安全，又可能取得较好的经济效益，已有许多成功的例证。以上这些问题，都有得到妥善解决的可能性，问题得有正确的指导思想和经济约束。

（4）正确处理矿区水资源保护和采矿的关系，及早作出规划，争取得到较好的社会和经济效益。

我国西部有许多煤矿区的开发、采煤和保水必须同时规划，这是一个有战略意义的课题。如陕北地区，煤炭资源丰富，水资源缺乏，地下水资源主要赋存于第四系砂层和煤系浅部烧变岩中，处于煤层之上，而且是以大气降水大面积就地渗入方式得到补给，不恰当的采煤可能导致水资源破坏，不恰当的采水可能导致土地沙漠化等较严重的生态环境问题。在这些地区煤炭资源广泛分布，水资源分布范围虽然较大，但相对集中，在这些地区发展煤炭工业，必须把采煤、采水、保水和环境保护作一项系统工程对待，取得最佳的组合效益，否则将给本区煤矿持续发展和当地工农业造成不易逆转的不良影响。

保护水资源也可以和利用矿坑水结合起来，矿井开采使许多分散的不易利用的地下水汇集流入矿坑，只要搞好水质保护，这部分水资源便可以得到利用。有人还建议在缺水地区利用废弃井巷建立地下水库，调节当地的水资源，这种设想虽属大胆，但不无道理，对于改善环境条件也有一定作用，长远讲也可能获得经济和社会效益，关键是这些地下水库如何管理和运行。

（5）减少矿井地质灾害，对于煤炭工业发展作用重大，效益明显。

煤矿的持续发展，机械化程度的提高，对地质环境条件的要求越来越高，而由于采矿深度、强度的增加往往使地质环境条件变差，发生地质灾害的可能性增加，其间的这种逆向趋势将成为煤炭工业的制约因素。减少矿山地质灾害对矿山安全和效益作用重大，但其前提是提高矿山开采的地质环境条件的工作程度，深化对地质环境条件的认识，在此基础上，防患于未然。

（五）在发挥行政监督和宏观调控作用的同时，加强矿区环境保护的自我约束作用是十分重要的

综上所述，煤矿床的开发和利用是一个十分广泛和深刻的社会环境问题，矿区地质环境条件也是煤炭工业发展的重要制约因素，对煤炭开发、利用的环境问题应该作为矿产资源开发战略的重要组成部分，及早作出决策和宏观调控。与此同时，加强矿区环境保护的自我约束也是十分重要的，发挥各个矿山对于保护环境的积极作用是搞好环境保护的重要环节。从煤炭工业发展战略上讲，矿区的环境容量；矿床开采的地质环境条件；矿山开发所造成矿区环境的改变性质和程度；矿产的加工和利用对社会环境的影响，这几个方面都可能有不同的地位和对策。在煤炭资源的开发战略规划中，既要有通盘的统筹考虑，又要对各个重要矿区做具体分析，将矿区置于整个煤炭工业发展体系中，将矿区开发的地质环境条件以及可能造成的环境影响，煤炭开发，加工和利用的环境效应作为一个系统工程来研究其对煤炭工业的制约作用以及对策。其中，开发环保型煤炭资源，大力研究、推广和应用洁净煤技术，发展型煤、水煤浆及煤的液化和气化技术，在地质、设计、生产和矿

工、利用各环节上都重视环境保护研究是十分重要的。只要我们坚持在环境保护措施中开发煤炭资源和在开发煤炭资源过程中加强环境保护工作，其环境效益将是显著的。

第二节　我国东部厚层新生界覆盖区井筒破裂问题

我国东部有许多厚新生界覆盖下的隐伏煤田，开采浅部煤层时如何合理留设露头煤柱的高度，压煤量约在50亿t左右，而这些煤炭资源多数属高级储量，利用矿井已有的井巷工程便可以经济地进行开采，如果能有效地缩小煤挡高度，提高资源的回收率，不仅有利于提高矿山自身的经济技术效益，而且也有利于缓解我国东部地区煤炭资源的相对紧缺状况，不仅对生产矿井和在建矿井有重要的现实意义，而且对我国东部今后隐伏煤田的开发也有相当积极的意义。从已有的勘探和开采资料分析，缩小露头防水煤柱尺寸是完全可能的。从目前疏排新生界底部含水层（以下简称底含）的一些矿区来看，疏排底含地下水对新生界其它含水层的供水水源没有发生明显的影响，但却出现了井筒破裂这个突出的工程地质问题。从1987年以来，两淮、徐州、大屯等矿区已有19个井筒发生了破裂，严重地影响了矿井的安全和正常生产，引起了各方的高度重视，疏排底含与如何避免井筒破坏便成为缩水煤柱过程中必须加强研究和及时解决的重要问题。

1　井筒破坏矿区的水文地质工程地质特征

已经产生井筒破裂的矿区，其水文地质及工程地质特征具有相似性：

(1) 新生界厚度都在200m左右，底含富水性弱至中等，上覆有厚度20m以上的隔水性能较好的粘土层（底隔），阻隔了底含与上部其它含水层之间的水力联系，使底含补给条件不良。

(2) 新生界底含覆于煤系底部奥灰、石炭系薄层灰岩及煤系各含水层之上，它虽然从上部获得补给量很少，但却可以连通矿区各基岩含水层而成为水力联系通道。故疏排底含地下水常引起各有关含水层的水位下降，下降的幅度和速度取决于底含的导水性和其间水力联系程度。

(3) 底含埋深较大，而且厚度也较大，一般为10～30m，甚至更厚。底含通常有较多的泥质或夹层，具一定的可压缩性，是开采浅部煤层时矿坑的主要充水水源。

(4) 底隔不仅厚度较大，而且具有较强的膨胀性和可塑性。

不具备以上特征的矿区，即新生界较薄或在新生界底部为隔水层、新生界底含之上没有厚的粘土隔水层的，则尚未见到井筒破裂现象，例如，开滦、邢台、邯郸、兖州等矿区。

2．井筒破坏特征及地质因素和力源

井筒破坏矿区，不仅水文地质工程地质条件具有相似性，而且井筒破坏特征也具有明显的类似性。

(1) 井筒破裂部位大体相同，均在基岩顶面附近，完整基岩以上，破裂段多数位于底含层位或基岩风化带内，少数可在底隔下部。

(2) 破裂带一般呈水平的环状，有的形成闭合环形。环形破裂带内破裂宽度不等，破裂带内井筒内表面呈竖片状剥落，剥落厚度约100～300mm，使内壁钢筋外露，纵向钢筋向内弯曲。在破裂带内有时会产生淋水、渗水现象。

(3) 从井筒受力力源和破坏机制分析，井筒均应为受压破坏，井筒破坏形态特征和模

拟试验时井筒受压破坏的特征相同。

井筒破裂是在矿井较长时间排水，底含水位已经较大幅度降低，且地面产生明显下沉的情况下发生的，底含水位下降与地面下沉之间有明显的相关关系。资料表明，底含水位大幅度地下降和底含层位同时发生的压缩是地面下沉的主要原因。

井筒的破裂原因有多种解释，淮北矿务局对此作过比较细致的工作。对井筒破裂的地质因素（特定的地质、水文地质和工程地质条件）及力源（井筒在纵向上受到的逆向压力）进行综合后，叙述如下。

第 1　井筒自重及负荷

新生界的力学强度很低，不能将井筒的重量及其负荷有效地通过井壁与岩层间的摩擦力转嫁给壁外地层承担。在一定的条件下，松散地层虽然可以承担井筒自重和负荷的一部分，但无力承担全部重量，井筒上部的重量及负荷只能主要地由井筒下部所负担，特别是一些冻结施工的井筒，融冻后在许多地段上井壁与地层联结不良。井筒的重量随着深度的增加而逐渐增大，故井筒越深的部分所随受的压力也越大，至基岩顶面附近达最大值。在基岩面以下井筒及其负荷则可以通过井筒与壁外岩层之间的摩擦力而转嫁到壁外岩层之上，由岩层所承担，不致产生随深度增大压力持续增大的现象。但是，如果基岩顶部风化比较强烈，则出现最大压力值的深度会下移。

第 2　松散层的沉降力所形成的逆向压力

矿井长期疏排底含地下水使底含地下水水位大幅度下降，同时也使底含产生明显压缩，进而造成其上部松散地层的下沉，产生了地面沉降。但是，井壁与松散层间的摩擦力将阻止松散地层的下沉，从而使邻近井壁处的松散层下沉力转化为对井筒的垂向压力。这种垂向压力虽然分布不均匀，但总的趋势也是由上而下逐渐增大的，直至基岩顶面。基岩面以下则如同井筒自重及负荷一样，转嫁到井壁外岩层承担。由于松散地层的岩性不同，对井筒所产生的垂向压力差异也很大。在松散的砂、砂砾含水层段，与井筒联结不良，附加垂向压力也很小，而在粘土层段，粘土层围抱井筒，对井筒产生的附加垂向压力较大。根据前面述及的矿区松散层结构特征，下沉力所形成的垂向压力主要产生在底隔层段，在底隔底部达到最大值，直至基岩面仍保持这个压力数值，一般不再明显增加。

第 3　其它方式的垂向压力

井筒相对于松散地层而言，具有较高的刚性，而现有的井筒没有设置应力缝，完整性很好，井筒内的气温变化在井筒的垂向和水平方向上均将产生收缩或膨胀效应，但是在井筒破坏中有影响的是垂直方向的温度变化状况。由于井筒长达数百米，尽管混凝土的膨胀系数很小，但是其膨胀总量仍然是较大的。从新生界往下，向下伸长受限而只能向上伸长，同时又要克服新地层的摩擦阻力，便加剧了井筒和松散地层间相对运动的幅度和速度，最终成为垂向附加压力的一个新的组成部分。尽管温度应力不足以形成井筒破坏，但温度应力是井筒破裂研究中应该注意的一个力源。

井筒破裂的时间相对集中，许多井筒破裂产生于 1987 年。由此，一些研究者提出，井筒破裂是否和新构造运动有关。如果区内有新构造上升运动，则情况同温度变化的纵向效应类似，但影响程度更大；如果区内有新构造水平运动，则在基岩顶面附近的井筒会产生剪切应力的集中，但目前在矿区尚未发现此类新构造活动的充分证据。

从井筒的受力状态分析，井筒的自重及负荷，松散地层沉降力及温度变化应力最终均

将形成对井筒的垂向压力，而井筒对应于基岩顶面附近，其压应力将达到最大值，基岩面附近也就成为井筒最易产生破坏的地段。井筒的受力状态及压应力随深度的变化如图 9－1 和图 9－2 所示。

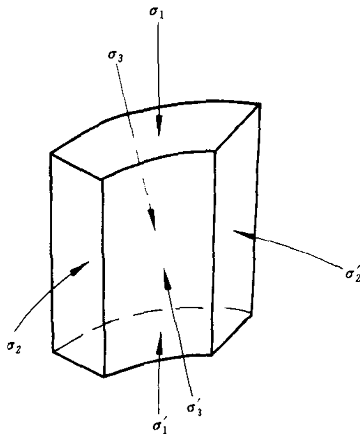


图 9－1　底含部位井壁单元体受力状态示意图

σ_1—单元体上截面压应力，为井筒自重、负荷应力、松散层下沉压应力及温度变化形成的压应力总和；σ'_1—单元体下截面压应力（$\sigma'_1=\sigma_1+\Delta\sigma_1$）；$\sigma_2$、$\sigma'_2$—单元体内壁所受侧向压应力（$\sigma_2=\sigma'_2$）；$\sigma'_3$—单元体内壁所受侧压应力（$\sigma_3=0$）；$\sigma_3$—单元体外壁所受侧向压应力（$\sigma_3$ 相当于该处的静水压力）

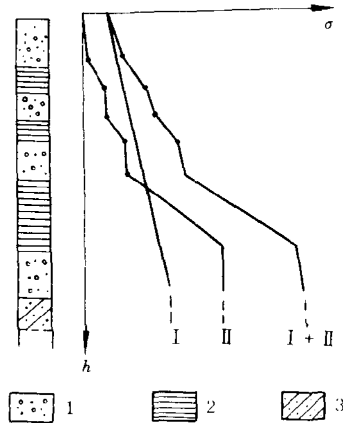


图 9－2　井筒压应力随深度变化曲线示意图

1－含水层；2－隔水层；3－风化带 Ⅰ－井筒自重及负苛形成的压应力曲线； Ⅱ－井筒受温度变化和地层下沉作用所形成的压应力曲线；Ⅰ＋Ⅱ－ 井筒压应力分布曲线

3．防治井筒破裂的水文地质对策

由于新生界底含与矿区各基岩含水层之间有较密切的水力联系，既可以通过煤层回采后形成的冒裂带直接向矿坑充水，又可以通过煤层的顶底板直接充水含水层其它含水层向矿坑充水，故在浅部煤层开采过程中底含向矿坑充水常常是一种不可避免的现象，只是充水强度、充水途径和方式各矿井有所不同而已。留设露头煤柱尺寸足够大时，也只可以避免底含水直接进入矿坑。从有关矿井的生产实践来看，在有底含分布的矿区，矿井在留设露头防水煤档的条件下，仍然引起了底含水位不同幅度的下降。底含水位下降是矿区开采的必然结果，任何想避免底含水位下降的做法都不是客观的，从这个意义上讲，缩小不缩小露头煤柱尺寸都没有什么本质的区别，缩小煤柱尺寸最多只是加快底含水位的下降而已，只要措施得当，减少露头煤柱尺寸与防治井筒破裂间并没有不可调和的矛盾，对于那些新生界底部没有含水层的矿区就更不会出现问题了。虽然底含水位的下降具有一定的必然性，但控制底含水位的下降速度和底含水位降落漏斗的中心位置则是可能办到的。使煤矿开采时底含降落漏斗的中心尽量远离井筒并使底含水位的下降速率控制在一定的数值之内对于防止井筒破裂是有好处的，它可以使垂向压力减少，较小的水位下降速率可以使井筒所受的地层沉降力有足够长的时间得到缓解或解除，从地质角度应做如下工作。

（1）选择较好的井筒位置，查明井筒所在处水文地质工程地质条件。

大范围内底含水位的下降其结果虽然会造成井筒附近的水位同时下降，但对井筒破坏产生影响的关键地段只是在井筒附近，井筒坐落在不同地段，其对底含水位下降所产生的反应和井筒的受力状况均会有所不同。查明井田范围内新生界地层的厚度、结构，查明底含的厚度、岩性和富水性的变化状况有助于井筒位置的选择。从防止井筒破裂而言，井筒位置应当尽量选择在那些新生界地层较薄及底含缺失或厚度较小的地段，尽量避开那些底含厚度较大，粘土或亚粘夹层较多，底含富水性较强的地段。因此应充分利用井筒检查孔，查明井筒所处地段新生界地层特征。基岩顶部的风化状况是预防井筒破裂的基础工作，要尽量取全取准有关资料。

（2）在查明条件的基础上，有针对性地采取防治井筒破裂的措施。

从水文地质角度，可供选择的途径有：

减少井筒处新生界含水层（包括底含）的水位降低，为此应防止井筒外侧跑水、漏水，特别要防止底含水直接进入井筒，同时利用底隔阻止新生界上部水进入井筒，减少井筒附近的水位降低。

加固井筒附近的底含，减少底含的压缩量，使底含分担一部分松散地层的下沉力。

减少底隔对井筒的围抢力或使其对井筒的围抢力部分地得到解除。但是，在解除底隔围抢力的同时应该不致于引起井筒壁外跑水。

要达到以上目的，可以因地制宜地有针对性地采取必要的措施，对已经发生破裂的井筒或可能破裂的井筒，可以采用壁后注浆的办法，堵塞井筒外侧跑水、漏水，使底含透水性减弱，可压缩量减少，强度增大，达到减少上覆地层的下沉及分担上覆地层下沉力的作用。除了破壁注浆外，还可以使用地面钻孔注浆来达到同样的效果。地面钻孔注浆后，在钻孔中可以从新鲜基岩面至底隔顶界的层段用水泥封闭，封闭后形成的水泥柱可以起到类似于摩擦桩的作用，承担一部分底隔的下沉力，此时即使底隔沿水泥桩有下滑，也仍将起到减少或解除围抱力的作用。当然，使用注浆时应该充分了解底含的渗透性及结构状况。

由于井筒与松散围岩之间的摩擦力只能阻止邻近井壁处松散地层的下沉，而较远处的松散层则可以不受井壁阻力的影响而下沉。从井壁往外，松散层的下沉量逐渐增大，且多存在拐点，至一定距离后下沉量则不受井壁阻力的影响。注浆的范围只需要在这个拐点之内即可。从井筒往外可以设置一些观测点观测相对的下沉量，即可以观测到这个拐点的有无和其大致位置。一般来说，底含水位降低越大，底含的压缩量越大，则井壁处与远离井壁的下沉量的差异可能也大，拐点距井壁的距离也可能远一些。拐点的存在与否及是否明显还取决于井壁与岩层间的摩擦力是否可以得到及时的解除。井筒与松散地层之间的摩擦阻力可以通过相互间的滑动而得到解除。如果松散层下沉的同时井筒能够保持相对上升，则松散层对井筒施加的下沉力已经得到解除或部分得到解除。当井筒的垂直方向附加压力减少到很小，井筒附近地层下沉与远离井筒处的下沉量差别甚小，拐点消失或不明显，此时井筒一般不会产生破裂。反之，当井筒与井壁外松散层间的摩擦力很大，未能得到及时解除的话，松散层下沉所施加到井筒上的附加压力也大，此时近井筒处与远离井筒处的松散层下沉量差别较大，拐点明显，井筒容易产生破裂。

4．井筒垂向附加应力的估算和井筒力学状态的预测判断

由地层下沉所形成的附加垂直压力可以通过下式粗略计算：

$$F = K \cdot \pi (R^2 - r_0^2)(\gamma h - H)$$

式中 R——拐点至井筒中心的距离；

r_0——井筒半径；

γ——底隔底板以上岩层的平均容重；

h——底隔底板深度；

H——底隔底板所承受的水头压力；

K——系数，与井壁和松散层的相对运动方向、大小和速度有关，$K<1$。

K值可以用已产生破裂的井筒资料求得，井筒破裂时的极限压力 $P=P_1+F$，P_1 为破裂处的自重压力，F 为破裂处对应的垂向附加压力。对未破裂的井筒而言可以用求出的 K 值，进行必要的修正后，以基岩面为计算基准面进行计算和预测。当对应的压应力大于混凝土的抗压强度时，井筒有可能产生破坏，宜采取某些必要的措施。

5. 开展井筒的监测工作

井筒产生破坏时，先从井筒的内侧呈环形竖片状剥落，致使钢筋外露，如不及时处理，则破裂将不断向内侧延深，直至破裂段整个井筒断面，破裂段同时会产生明显的压缩变形。井筒破坏段的压缩过程是继续压裂的过程，在这一过程中，如果井筒的下沉幅度超过地层下沉的速度，则井筒与松散地层间的摩擦力将起到减少井筒压缩的作用，成为破裂段以上井筒下沉的阻力。井筒破坏和下沉的结果，将使得井筒所受的过负荷的垂向压力得到释放，当井筒破坏段压缩量逐渐减小直至趋于稳定后则重新形成新的力学平衡。不过，这种力学平衡也可能是暂时的和相对的，因为底含水位常会产生持续的下降，水位降低值增加到一定程度后，便会重新打破这种平衡使井筒的破坏段高增大，破坏重新开始。同时，已经遭受破坏的井筒，虽然在压力上可能达到一种相对的平衡，但其抵抗拉力和剪力的强度已明显地减低，亦可能出现新的破坏形式。如果能观测到井筒破坏的过程，井筒破坏前后的地面下沉和地层压缩状况，井筒破裂后破坏段的压缩变形情况，井筒压缩趋于稳定及再次产生破坏的过程以及对应时段底含水位的降低值等数据，则对于分析具体的井筒破坏的和主导因素将是很有益的，对于防治井筒的破裂也是必要的，故在相应的矿区建立井筒的长期监测系统，比较系统地获得各种有关资料是十分重要的。当然，由于井筒的破裂、压缩过程，也是井筒破坏应力的释放过程，再加之某些防治措施，井筒的再破坏可能不会发生，但即使在这种情况下，监测工作也是有益的。

6. 采取综合措施防治井筒破裂

这里重点研究了井筒破裂的有关的地质因素，但是对于井筒破裂的防治而言应该考虑综合措施。除了改善井筒所在处的工程地质水文地质条件之外，防止和治理井筒破坏还应该同时考虑加强井筒的强度，改善井壁结构，已破破段破坏部位的探测和修复及补充强度措施，进行综合性防治。当然，查清井筒所在地的水文地质工程地质条件是一项重要的基础性工作，特别是底含、底隔和基岩顶部风化带，井筒建设所采取的有关措施也应该主要在这些地段。

第三节　岩溶矿区地面塌陷问题

1. 地面塌陷的形成机制

地面塌陷是岩溶地区特别是我国南方碳酸盐岩分布区常见的地质现象，是岩溶充水矿

区突出的环境地质问题。岩溶地区地面塌陷的根本原因是有岩溶发育所形成的足够大的可能诱发塌陷作用的空间。只要有这种空间条件，塌陷就可能发生。不过，一些塌陷发生在地质历史时期，如我国北方地区的岩溶陷落柱，一些塌陷是在自然界中在天然条件下形成的，它可能是较长时期内逐渐形成而在短时期内迅速发展的地质现象；一些塌陷则是人为作用所造成，通常是人类活动加速和激化了各种致塌作用的结果。因为一定规模的岩溶空间的形成通常只能是一个较长的地质历史时期中的产物，而这较长时期所形成的岩溶空间顶部的盖层可能是坚硬的岩层，也可能是未胶结的松散层。尽管可溶岩岩溶空间的形成需要较长的时期，但在底部已有足够大的空间条件下，盖层在各种作用的综合影响下，遭受破坏则只需要短得多的时间，即长期岩溶化的过程，是较短期内产生的盖层破坏和地面塌陷的必要条件。无论盖层是坚硬的岩层或者是松散层，只要是致塌力大于抗塌力，盖层均将产生塌陷。在地表或距地表不太深的地区，自然地质作用的结果往往使得盖层的强度减弱，使抗塌力减少或者致塌力增加，所以使在非疏排和开采岩溶地下水的条件下，则可能大大地激化和加强各种致塌作用，完成在自然界中需要较长时间才能完成的致塌过程，使岩溶的塌陷机率大为增加，问题也就突出得多。

岩溶地区地面塌陷是岩溶空间上部盖层致塌力大于抗塌力的结果，在抗塌力中，盖层自身的强度往往占主导地位，松散层的强度大大低于基岩岩层，故在松散盖层中产生塌陷的可能性也大大地高于基岩盖层。在松散层厚度很大的地区，由于接近岩溶空隙的松散层底部塌陷的结果已足够充填其下部的岩溶空间，上部的松散层又可能通过松散颗粒的移动和粘土、亚粘土层的塑性变形来减缓底部的塌陷影响，这样就使得塌陷作用难于达到地表，也就不易形成地面塌陷，这种情况有如煤矿开采中的冒落带、裂隙带和整体沉降带的形成。但是，由于岩溶空间的几何尺寸相对于煤层的采空区而言，要小了许多，不仅冒落高度、冒落影响范围小得多，而且在松散层中裂隙不易形成，又由于底部的冒落范围极其有限，往上其影响迅速减弱或消失，地面的变形往往也可以忽略，故在松散层大于一定的厚度以后，形成地面塌陷的可能性也减少，最易发生地面塌陷的地区是那些岩溶化程度较高，岩溶空间较发育，而上覆松散层，且松散层厚度不很大的地区。

就地面塌陷的成因而论，有以下几种主要的致塌作用。

(1) 重力作用。包括盖层的自重和外加的荷重。盖层的自重作用是形成岩溶地面塌陷的最常见的，也是最重要的致塌作用。不过，重力作用在许多情况下是和其它的致塌作用共同作用于盖层而引起盖层塌陷的。以重力作用为主的塌陷主要有三种情况：①由于大气降水、地表水的入渗使得松散盖层的容重增加，重量增大，重力导致盖层破坏易陷；②由于上部盖层遭受风化，使其强度明显降低，难于抵抗重力的破坏，形成层状剥落或破碎垮落而致塌；③由于岩溶空间上覆盖层上兴修地面建筑，使其增加了附加负荷，当附加负荷加岩层自身的重量足够大时，便会形成重力塌陷。重力致塌常常是由盖层的容重增加和风化作用所共同完成的。土层的容重在雨季常常因饱水而增大，连续下雨之后常常发生塌陷，而由雨季向旱季过渡的过程中，对于一些含一定数量的粘土成分的松散盖层则易于产生干裂而形成逐层垮落破坏，也是一个塌陷现象的多发时期。

以重力作用为主的塌陷，多分布在那些地下水位较深、水位低于盖层顶板的非封闭型岩溶空间分布的地区。在不具备以上条件的地区，重力作用也可能是主要的致塌作用，但往往非唯一的主要作用。

(2) 潜蚀作用。潜蚀作用产生于那些有透水松散层覆盖的岩溶化地区。向下渗透的水流首先逐步带走了松散层中较细的颗粒，随后形成松散层局部解体，并形成空洞，当空洞达到一定的规模地面塌陷就可能发生了。因为汗蚀作用是在水流向下流动过程中产生的，只有水流垂直向下运动情况下，水头梯度达最大值，在地下水位以上，这个条件在雨季或地表水的集中渗漏地段容易达到。又因为水流是向岩溶空间渗流的，由于岩溶空间的分布不均一，在岩溶发育地段的顶部松散层中，不仅水头梯度最大，而且在松散覆盖层中较分散的水流将逐渐向这些地段集中，还易于产生冲刷等作用，塌陷就发生在这些地方，所形成的岩溶塌陷形状多呈漏斗状，漏斗指向松散盖层底部的岩溶集中渗流通道。雨季是潜蚀塌陷的多发季节，地表水的渗漏地段是易于发生潜蚀的地段。

(3) 吸蚀和其它作用。许多研究者称之为真空吸蚀作用。其实，它包括吸蚀作用和真空作用两个部分。无论岩溶空间是否处于密封状态，是否有条件形成真空，在地下水位很快脱离顶部覆盖层时，由于水分子与土颗粒间的分子引力，均会产生吸蚀现象。但是，真空作用一般只产生在岩溶空间顶部为粘土、亚粘土、亚砂土等透水和透气性能很差的覆盖层的条件下，由于水位较快地下降而在岩溶空间顶部形成真空状态，出现负压，作用于覆盖层底部时则相当于吸力，其吸力的大小取决于岩溶空间的封闭程度，水位的下降速率，岩溶空间与上覆盖层的接触面积大小等因素。在一些与外部连通，但连通程度不好的岩溶空间顶部也会产生暂时性真空状态，同样可以形成负压，水位下降速率越快，真空值愈大，在岩溶空间中形成真空腔的同时，覆盖层孔隙中则形成相对的超压状力，因为地下水位下降以前，岩溶空间和上部盖层均处于压力平衡状态，一旦真空腔形成，腔顶盖层中空隙中水及气体则压力过剩，存在着扩容倾向，是促使盖层破裂的又一力源。故吸蚀作用一般包括分子引力作用，真空作用，扩容作用并伴随着重力作用，是一个综合致塌过程。

与真空作用相反的则是岩溶空间顶部的超常气体压力作用（即气爆作用），它也可以引起地面塌陷，不过其过程是先由气体超常压力突破顶板覆盖层，然后由重力致塌作用导致塌陷形成。气爆作用同样产生在那些封闭条件较好的岩溶空间中，只是这些空间是充气的，这些岩溶空间在地下水位迅速上升时，气体压缩，压力迅速增大，当压缩气体压力大于覆盖层强度时，便导致气爆现象的产生。此类岩溶空间也可能经历过真空状态，当其在地下水位迅速下降时形成真空状态，但是只要顶板未形成破坏，它经过较长时间后，最终会形成与整个系统的压力重新平衡状态成为常压状态而充满气体的。控制此类封闭的或半封闭的岩溶空间的，使其形成超压或真空状态的地下水位的升降和变化速度以及作用的过程。这种模式有点像活塞的抽、压作用，水位迅速下降；则可能形成真空，水位迅速上升则可能形成超压，如果水位能保持较长时期的稳定，则可能向常压状态转化。因为在自然界中，绝对的封闭状态是不存在的，存在的只是水位的变化结果和岩溶空间顶部的压力状态的迟后而已。在气爆形成的条件产生前，覆盖层的自重力将是一个重要的抗塌力，这是气爆和其它形成塌陷的明显的区别。

(4) 水头压力对覆盖层底板的卸压和加压作用。在含承压水的岩溶空间中，承压水头作用在覆盖层的底板，形成上托力，当岩溶水水位下降时，上托力减少，当水位降至覆盖层底板以下时，上托力消失，原来由水头压力所承担的那一部分重力改由覆盖层自身的强度承担，当水头下降值很大，转嫁到覆盖层底板上的压力值也越大，在覆盖层的自重作用下，则容易产生致塌。不仅如此，在覆盖层底板丧失上托力的同时，水位下降离开底板的

瞬间还同时存在有明显的吸力，在岩溶空间处于封闭或半封闭的条件下时，还会形成真空作用，这些综合作用使得塌陷更易于产生。如果水位下降的速率大，且水与覆盖底板接触面积也大，塌陷的可能性也大，如果水位变化比较缓慢，幅度不大，则塌陷的可能也小。

水头压力既然对上覆盖层可以产生卸压作用使上覆盖层失去水头的上托力，同时也可以对上覆盖层产生加压作用。同样，如果水位上升较快，水头值迅速增加的结果，也可能造成覆盖层破坏，其中的原因之一是水头的迅速增加会对覆盖层底板产生冲击、冲刷，同时对覆盖层底板的加压作用并不均一，在水位下降期间与空气接触的覆盖岩层可能遭受风化、潜蚀等作用，强度降低或者结构已遭破坏，在水位的上升加压过程中破坏。一个地区，岩溶水位的大起大落往往加速了覆盖层的破坏，对岩溶塌陷的形成有利。

(5) 其它致塌作用。自然界中的地震、暴雨以及人类工程活动所形成的各类震动，在含有可溶盐类胶结成分的松散层中胶结物的溶滤等作用等凡属能降低覆盖层强度，引起覆盖层破坏以及引起覆盖层重量增大，负荷加大的各种作用也可能加速塌陷的形成，或者诱发塌陷，这各类致塌作用一般都与大气降水、地表水或者地下水的活动关系比较密切。

综上所述，岩溶塌陷形成的有利条件是：

(1) 岩溶较强烈发育的地段，可溶岩顶部有较大的岩溶空间，覆盖层与岩溶空间的接触面积较大，形成塌陷的可能越大。

(2) 覆盖层不太厚且为松散层的地段。许多矿区地面塌陷的观测结果证明，在松散层厚度大于 30m 的地段，较少地形成地面塌陷。当然，这种临界厚度还与覆盖层的岩性及其组合有关。松散层结构比较复杂，如砂和粘土相间成层则塌陷的高度也可能较低。结构比较简单，如以砂层为主，则塌陷高度可能增大，以粘土层为主，则反之。

(3) 岩溶地下水位的迅速变化。各种致塌作用在一定的意义上讲都和岩溶地下水位的变化有关，特别是水位的大幅度的迅速涨落往往是诱发地面塌陷的主导因素，其中水位的迅速下降是许多地区岩溶塌陷形成的最主要原因。水位的频繁升降，有利于覆岩的破坏，在塌陷形成中有重要的作用。

(4) 大气降水比较丰富，易产生大气降水、地表水下渗，特别是集中下渗的地段。

2. 地面塌陷的预测

塌陷是在一定的地质条件下的产物，只要查清了有关的地质条件，则岩溶塌陷是可以预测的。对煤矿区而言，煤田地质勘探已经为塌陷的预测提供了比较丰富的资料，有些矿区还有许多基建和矿井开采中的有关资料，这些都是预测的基础资料，应该充分利用，特别是其中的水文地质资料更是分析研究的重点。对岩溶塌陷的预测工作而言，主要做好以下工作。

(1) 圈出可溶岩的分布范围，找出岩溶发育地段，研究岩溶水的强径流地段。塌陷多形成于可溶岩的隐伏区、浅部岩溶比较发育的地段，特别是地下水的强径流带附近。可溶岩隐伏区，由于在可溶岩生成后至接受松散沉积物前，往往已经经历过漫长的岩溶化过程，而且在松散层覆盖后仍相当的继承性，故在一些南方煤矿区，可溶岩分布区常形成负地貌，与非可溶岩分布区地貌上有明显的区别，易于辨认，其中地形特别低洼的地带则可能是岩溶发育比较强烈的地带，沟谷、小溪、河流地带往往是地下水的强径流地带，也是地表水和大气降水易于汇集，易于产生下渗的地带，而那些斜坡地带，分水岭地段则不利于地表水、大气降水的下渗和汇集，岩溶发育则可能较弱。岩溶大泉出露于岩溶水的强径

流地带，泉的附近岩溶发育程度高，是地面塌陷的多发地段。强径流地带在地下水流场的变化过程中反映明显，当抽水或矿井排水时，强径流带的水位下降快，降幅大，沿径流方向水头梯度小，而垂直强径流带水位梯度很大，强径流带两侧往往等水位级比较密集，在抽水或排水停止后，强径流带的水位恢复得也快。利用抽水、放水和排水资料对于分析强径流带的分布有明显的效果。

强径流地带，地面塌陷往往具有多发性，这是岩溶发育比较强烈的表现；一次塌陷的结果只可能堵塞一部分岩溶空间，而多次塌陷才有可能堵塞可能引起塌陷的岩溶空间，使得塌陷渐趋平静。

(2）查清松散物的厚度，岩性及其组合。在资料比较充分的情况下，可以作出松散沉积物等厚线条，进行概略的预测分区，结合松散层的岩性组合状况，特别是松散层底部岩性可以预测可能发生的致塌作用的类型和作用方式。

(3) 结合矿区开采地下水或者矿井疏排地下水的方案，估算其影响范围及地下水水位降深值、降速。有条件的地区，可以利用数值方法，预测降落漏斗的发展过程

(4) 设置地下水动态及塌陷监测点，有条件的可建立研究塌陷为目的的地质一水文地质工程地质模型，利用矿区开采或疏排地下水前的各种资料去预测初期地面塌陷的状况；利用矿区开采或疏排地下水的前期资料去预测后期的塌陷情况，提高预测的可信度。地下水的动态观测钻孔可以结合塌陷的防治目的施工，主要布置在可能产生塌陷的地段或其附近。

(5) 根据岩溶径流带位置，松散层厚度、岩性及其组合，开采或疏排地下水可能的影响范围和程度等各种因素，结合地面建筑物的性质、种类和重要性划分出地面塌陷的危害程度分区，增加预测的针对性，对重要建筑物进行重点预测预报。

3. 塌陷的预防、治理

一般来讲，自然界中多数塌陷具有自愈能力，上部覆盖层坍塌的结果，将会逐渐地堵塞已形成的岩溶空间，多次反复的塌陷有可能使塌陷停止下来。当然，也有的塌陷不具有自愈能力，最终形成落水洞等特殊地貌。

对塌陷的预防、治理而言，首先应在查清塌陷可能发生的范围、性质的基础上，了解可能造成的危害，然后有针对性地进行工作。在工作之前应进行经济技术分析。有些地段，塌陷的结果不至于产生或很少产生危害，则可以不投入过多的防治工作，可以让地面塌陷自行愈合；有些地段有重要的建筑物，发生塌陷将造成重大损失，则这些地段应该采取预防为主的方针，避免塌陷的发生；有些地段初期塌陷可能难于避免，而后期则可以预防、治理而收到效益。有些地段可能产生塌陷的范围较大，有的则较小，防治的办法也应有区别。对于矿区开采地下水而言，塌陷的结果可能会造成地面建筑物破坏和水质污染；对于矿区疏排地下水过程则不应引起重要地面建筑物遭受破坏的同时，也不因为塌陷而导致大气降水和地表水大量进入矿井，增加矿井排水费用甚至形成淹井，如果有这类问题产生，一般均应该进行治理。

如前所述，致塌因素较多，但地下水位的大幅度迅速变化以及地表水、大气降水的集中入渗则是其中主导因素，防治塌陷的一般原则是：

(1) 首先应该设法减少可能塌陷区地下水水位下降的幅度或者减缓地下水位下降的速度，减少或避免水位的大起大落。

(2) 避免和减少水位大幅度升降可能给覆盖层造成的破坏作用。

(3) 增强覆盖层的抗塌力。

(4) 减少地表水的下渗，避免大气降水和地表水较集中地下渗。

按照以上原则，一般可以采取下述措施：

(1) 控制地下水的疏排过程，不致引起水位的急剧升落。

(2) 在可能产生塌陷的岩溶空腔中设置通气管，与大气连通，可能缓冲水位迅速上升过程中，岩溶空腔中水或气体对盖层形成的冲击力；或者水位迅速下降时的真空作用。这种装置通气管的办法曾经在湖南乡宁沩水河旁等处的防塌工作中取得了明显的作用。

(3) 加固顶板或堵塞水流集中下渗通道。在一些地区可以通过注浆等办法加固顶板松散层，也可以在可能的塌陷点或者已塌陷点上方开挖后用钢梁或水泥板制作人工顶板。安置人工顶板后可回填，且令其标高高于周边地带，以免地表水、大气降水集中回渗。加固顶板的办法成本较高，一般只是在重点的塌陷点处使用。

(4) 铺砌防渗或者河流改道。在一些矿区，岩溶的强径流带或者集中发育地带分布在沟谷、小溪、河床地带，这些地带一旦发生塌陷，将导致大气降水、地表水大量进入矿坑，危胁矿井生产安全。为降低排水费用，保证矿井安全，可以考虑铺砌其中可能塌陷的、有重大影响的地段，避免地表水大量地渗漏，但是这种处置方法，因为铺砌的盖层厚度不可能太厚，虽然对于防止河水大量下渗和减少塌陷的发生有效，但并不能完全避免塌陷的产生。在湖南涟邵矿区，壶天河河床塌陷是影响矿井开采的重要因素，该矿务局曾用 0.3m 厚的混凝土板铺砌河床 1582m，同时在区内岩溶地段埋设通气管 12 处，对减少塌陷及减少地表水对矿井的充水起了一定的作用。

对一些岩溶化程度很高，用铺砌不经济或者难于解决问题的河段，可以采取河流局部改道的办法。

(5) 地面建筑原则上是应该避免选择在可能的塌陷区，但在特定的条件下，只可能选择在这些地区时，对于某些地面建筑的规划区，可以采用人工诱发地面塌陷的办法。用人工激发塌陷的产生并进行重点处理。在人工激发条件下，在最易塌陷的地段，首先产生塌陷，处理后，可以再进行激发，直至塌陷停止，反复激发，反复处理，便可以达到改善建筑物基础条件的目的，同时通过反复塌陷也可以总结某些塌陷的规律和合理的处理措施

(6) 对于某些不允许产生塌陷的重要地段，可以采取构筑阻水帷幕，或堵塞强径流带的方法防止区内水位，因开采或矿井疏排地下水而下降幅度过大。在岩溶地区，由于岩溶发育的非均一性，只要能找到并堵塞岩溶水的集中水流通道，便可以阻滞各区段的水力联系，用以减小保护区水位下降幅度或者速度是可能的，必要时也可以考虑用帷幕截流方式。

(7) 用水文地质测绘、地面物探工作，配合少量的浇钻，圈出可能塌陷的地段，在此基础上对重要建筑物所在处基础进行加固，加固办法可以使用注浆、开挖充填等等办法，关键是找到这些可能塌陷的地段，并了解岩溶空间的发育状况

在对地面塌陷防治过程中，一般应考虑综合措施，讲求经济效益，为加强工作的针对性，投入部分勘查工程量往往是必要的，特别应发挥地面物探的作用。

第四节　东部水害西部水源是制约我国煤炭工业发展的重要环境地质问题

我国的煤炭资源分布特征决定了我国煤炭开发的重心将逐渐西移。稳住东部，形成和西部煤炭生产协调发展的格局，是煤炭工业持续健康发展的需要东部煤炭资源勘探和开发程度比较高，找到新的可供建设的煤炭资源难度越来越大，为缓和东部煤炭资源的相对紧缺状况，除尽力寻找新的资源以外，提高资源回收率，解放受岩溶底板水威胁的煤炭资源和新生界下压煤是一项非常重要的措施。我国西部煤炭资源丰富，但水资源缺乏，除了作好煤炭资源准备以外，及时解决矿区建设和发展规划用水也是必要条件。从总体上讲，我国东部矿区水害问题，西部供水问题将是制约我国煤炭工业发展的重要的环境地质问题。

一、在我国东部地区解放受岩溶水威胁的煤炭资源和新生界下压煤问题

(1) 解放受岩溶水威胁的煤炭资源。我国东部 C—P 煤田，开发强度大，煤炭产量占全国煤炭产量的一半以上。C—P 煤田下部煤层普遍受到底部岩溶水的威胁。据北方一些主要煤矿区统计，受岩溶水威胁的资源量达 160 亿 t 以上。仅冀、豫、鲁、皖及渭北等地，矿井占用储量为 384.5 亿 t，而受水威胁的煤炭储量却高达 149.7 亿 t，占 39%。其中，一些矿区如肥城、峰峰、邯郸、焦作、鹤壁、澄合，辑城等下组煤开采问题不解决，稳产和接续就没有出路；一些新区（井），如河北元氏、山东许厂、岱庄、黄河北，河南新郑等，底板岩溶水如果得不到有效防治，将危及正常开发；此外，由于开采深度的增加，水压增大等原因，一些原来无水害的矿区也将相继出现水害，如山西西山、东山、霍县等。近年来，随着科学技术的进步，探测手段和排水设备的改善，采取从区域着眼，从矿井入手，在一些有条件的矿区逐步解决底板岩溶水害还是有可能的。由于下部煤层含硫量较高，煤质相对较差，同时开采时需投入较多的排水费用，如果不和上部煤层合理配采，形成较合理的煤炭生产结构的话，今后单独开采将更会困难长期以来，煤田地质系统为解放受岩溶水威胁的煤炭资源作过许多工作，资源勘探中一般都要用底板延深孔控制底部岩溶含水层，并投入相当的抽水、长期观测工作　此外，还在一些水文地质条件比较复杂的矿区（井田），例如，济宁一区、丰城、合山、东庞、新郑、扎渡等进行过专门水文地质勘探。与此同时，许多科研、教学及生产单位也做了不少工作，为逐步解放受岩溶水威胁的煤炭资源提供了许多有价值的资料。

(2) 解放新生界下压煤，提高回采上限，增加可采储量。我国东部地区有一些隐伏煤田，煤层较多、较厚，而倾角较小。以往开采浅部煤层时，多留设高度达 60～80m 的露头煤柱，压煤数量巨大，如能将这些煤炭资源解放出一部分或大部分，于提高生产矿井效益和缓解东部地区煤炭资源不足的局面均有重要作用。近些年来，一些生产矿井在“点”上已作过较多工作，取得了一些试采成果，煤田地质系统也做过不少工作，完成了“巨厚新生界下留设露头煤柱的水文地质工程地质条件研究”课题，查清了压煤总量及其分布状况，在为解放新生界下压煤提供宏观决策依据的同时，总结勘探方法，查明煤柱留设的有关地质因素，为合理留设煤柱提出了建议，从已有成果来看，解放新生界下压煤潜力很

大，效益很好，采用综合勘探办法，充分发挥物探的作用，可以使该项工作在经济技术上更合理，取得更好的效益。

二、中国西部煤矿区水资源状况和对策问题

截止1989年底，全国煤炭保有储量9014.52亿t。其中，晋陕蒙（西）为5656.08亿t，占62.7%，晋陕蒙地区预测总资源量2.05万亿t，其中鄂尔多斯盆地达1.4万亿t。晋陕蒙地区不仅煤炭资源丰富，而且煤层稳定性好，构造简单，煤质优良，是我国现在和将来煤炭工业的最主要基地。晋陕蒙和我国西部许多矿区均处在干旱半干旱缺水地区，开发这些矿区关键问题之一是解决好矿区供水问题，有效地保护生态环境。在某种意义上讲，水资源的勘探、保护和合理利用比煤炭资源本身的勘探和开发具有更重要和更积极的意义。

从现状上讲，西部许多新建矿区虽然水资源贫乏，但当地人烟稀少，工农牧业发展水平低，水资源利用率很低，故经过工作，故矿区开发初期的供水水源可望得到解决，但是矿区长期发展水源问题多不落实。而且，在矿区发展的同时，当地的工农牧业发展，人民生活的提高，需水量也必然迅速增加，矿区发展与工农业争水问题会突出起来；西部矿区的生态环境多比较脆弱，不适当地采煤和采水均极易导致生态环境恶化，不适当的采煤还可能导致水资源破坏和水质污染，对于矿区的发展而言，需要把矿区供水、水资源和水质保护以至地质环境、生态环境保护作为一项系统工程来研究；从发展战略上讲，要提高煤矿区效益，需要改变单一煤炭生产为综合开发，发展多种经营，这种方针性改变也必然会加剧矿区水资源的紧缺状况。

在我国神榆府矿区，第四系萨拉乌苏组是最主要的供水对象，覆盖于煤系之上，煤系浅部的烧变岩也是区内又一供水对象，两者之间常有密切的水力联系。区内地下水以大面积降水就地补给为主，降水量不大，但砂层分布范围大，入渗条件好，使其具有相当的供水能力，但是具有这种特征的水资源，在矿区的开发过程中极易受到破坏和污染，同时大规模的采煤和采水也可能超过环境容量，引起本来就十分脆弱的生态环境进一步恶化。区内神府东胜矿区已勘查、预测水源地的补给面积589km^2，大保当区1444.4km^2，合计2033.5km^2；东胜神府矿区面积3214km^2。设计开采面积1422.06km^2，水源地补给区面积占煤层开采面积的41.4%，如何保护水资源十分突出。

我国西部煤炭工业持续发展，水资源条件是一个重要制约因素，西部部省（区）水资源占有量远低于我国其它省份，解决煤矿区供水问题需要多种渠道和方式，要作大量的水文地质工作，尽快查清各主要矿区（煤田）的水资源条件并进行合理规划，已建成投产矿区要建立地下水、地表水动态观测网和水资源管理模型，为决策提供可靠的水资源依据，保证矿区规划的科学性和水资源的合理开发利用，取得经济技术上较好的合理性和效益。

我国西部矿区水资源问题尚可考虑以下对策：

（1）采用恰当的开采方法，合理确定开采量，既充分地利用地下水资源，又合理地保护生态环境；既充分地利用地下水的补给资源，又充分利用含水层的调蓄能力，尽早建立系统的生态环境，水源地水质、水量及煤矿开采排水的统一监测系统，落实有关必要的水质保护和其它措施。

（2）在陕北榆神府等煤田，要正确处理采煤和水资源保护间关系，用系统论的观点安

排好井田开发顺序，合理选择开采方案，落实好采煤保水措施。

(3) 尽量利用区内分散的水源地，按质按量作出水资源的合理利用安排。

(4) 做好矿井水的综合利用和资源化。采矿中可能将疏干浅部一些含水层（段），包括有供水意义的层段，也包括一些不易开采利用的层（段），这些地下水流入矿坑后，如能作好水质保护，合理利用，则不至于造成水资源破坏，在一定的条件下，可能还会有所增益。

(5) 同时利用好地表水资源。利用河水常常要解决好水质污染和泥砂含量有两个突出问题，做好供水期地表水的拦蓄工作，“三水”统一规划。

(6) 人工补给地下水。可以利用地表水，也可以利用经过处理的污水，以地表水为首选对象。人工回送地点及回送工程及可能产生的问题应该早作论证，同时投入适当的专门性工作。

(7) 利用老窑区调蓄地下水、地表水。这是一项新的设想，有一定的利用前景、关键是作好水质保护。

(8) 有条件可考虑傍黄河取水。

(9) 节约用水，挖掘节水潜力。

采取以上各种措施，可以缓解我国西部水资源的紧缺状况，但矿区用水与当地工农业用水的矛盾仍将日趋尖锐。引黄是一种可供考虑的方案，但需要国家作出统一的规划和安排，但引黄如不和南水北调工程配套，到2000年后，黄河也将无扩大引水的可能，对于矿区而言，优先开采地下水，尽量使用地表水，“三水”统一规划，尽快建立水源地则是比较现实的，同时也应在引黄规划中占有一席之地。

第十章　煤田水文地质勘探的若干问题

中国解放以来，随着社会主义经济建设的发展，在大量进行煤田地质勘探的同时，进行了大量的煤田水文地质勘探。积累了非常丰富的经验，形成了一整套的比较成熟的煤田水文地质勘探方法与勘探技术。内容非常丰富而复杂，本章将不拟一一详述，只就其中一些要点和行之有效的经验与技术，以及存在的问题和解决途径，简述于下。

第一节　　煤田水文地质勘探的若干要领

煤田水文地质勘探方法是一个内容非常丰富、非常复杂而又没有固定模式的问题。它不仅随着含水层或含水带的性质、赋存条件及其与可采煤层的相对关系的千差万别而相应差别，随着煤矿的建设阶段、井型、生产能力及开采工艺的不同而各有不同，而且还随着科学技术的不断进步、勘探手段的改进、技术经济对比条件的变化而不断改进和提高。因此，要想对煤田水文地质勘探方法进行全面的详尽的论述，是比较困难的。现只将其中的若干要领作一简要介绍。虽不免有挂一漏万之讥，但尚可有举一反三之效。

一、基本要领

要想搞好煤田水文地质勘探，必须遵循以下几个基本要领：

（一）研究含水层或含水带对煤层开采的影响，是煤田水文地质勘探的首要问题

对任何一个煤田中任何一个含水层或含水带，首先必须研究其对煤层开采有无影响？影响程度如何？是开采初期就有影响，还是到开采后期才有影响？对煤层开采可能有严重影响的直接充水含水层（带），尤其是在建井及开采初期就可能对矿井起重要充水作用的直接充水含水层（带），必须运用适当的勘探方法与有效的勘探手段，予以重点查明。对于一般的次要的含水层（带），则只须用少量工程量进行一般了解即可。对于那些显然到开采后期才能对矿井起充水作用的含水层（带），可以留到矿井生产后期去解决，不必在资源勘探阶段就耗费大量经费，以免过分提前积压投资。至于那些显然对矿井不可能起充水作用的含水层（带），如果不是为了寻找供水水源，即使含水非常丰富，也不必去理它。但对于那些能否对矿井起充水作用尚不能确定的含水层（带），则应用一定的工程量查明该含水层（带）与可采煤层之间的隔水层的可靠性

（二）不同的勘探阶段各有不同的水文地质工作要点

煤田地质的勘探阶段是与煤炭工业的基本建设程序相适应的。每一阶段都有其应达到的预定目的以及与之相适应的工作要点。煤田水文地质工作，当然也是这样。

1．找煤阶段

找煤阶段的勘探目的是寻找煤炭资源并评价其有无进一步工作的价值。故水文地质工作程度只须在煤田地质工作的基础上对工作区内的地层、岩性、第四纪地质及自然地理条

件（如气候、地貌、地面水等）有一初步了解，对煤田水文地质类型有一初步判定即可，不必投入专门的工程量。

2．普查阶段

普查阶段的勘探目的是对工作地区的煤炭资源有无开发价值作出评价，为煤炭工业远景规划及详查勘探设计提供资料依据。故其水文地质工作程度要求为：确定煤田水文地质类型，并着重了解对煤炭开发有重大影响的主要水文地质问题，如对煤矿能直接充水的强含水层的层位及分布，干旱地区的矿区供水水源的寻找方向等。对一般水文地质情况有一般了解即可。

3．详查阶段

详查是在普查的基础上进行，其目的是满足矿区整体设计的需要，同时为精查勘探设计提供资料依据。故其水文地质工作程度要求为：对整个矿区或工作区的总的水文地质情况，必须全面了解；对矿区开发有重大影响的主要直接充水含水层，还必须初步查明其岩性、厚度、含水空间发育程度、富水性、水位、含水层与可采煤层之间的隔水层厚度及其在平面上的变化；对井田划分有影响的重要径流带、断裂带及水文地质边界，必须初步查明其位置及其对煤层开采的影响程度，以便矿区整体设计时考虑井田如何划分和开发顺序，必要时可将这些主要径流带、断裂带、水文地质边界作为井田界线，避免开采时穿越这些“带”的麻烦；对直接充水含水层、间接充水含水层、地表水三者之间的水力联系，也须予以初步查明；同时还应对可以利用的矿区供水水源的水量、水质作出初步评价。

4．精查阶段

精查一般应在矿区开发整体设计已划分井田的基础上进行。其目的是为矿井设计提供地质资料。故其水文地质工作程度要求为基本查明井田的各项水文地质条件，并重点查明首采区及第一水平（由矿井设计部门提供）的水文地质条件。对于以孔隙水为主的第三纪褐煤田，应重点查明可采煤层顶、底板含水砂质岩层的厚度、粒度组成、胶结程度及胶结物、水位、渗透性、流动性以及煤层开采时水、砂溃入矿井的可能性。对于煤层顶、底板的粘土质岩层，则应重点查明其可塑性、膨胀性、崩解性以及岩体巷道变形、底鼓的可能性和对井巷维护的危害性。对于新生界含水层覆盖下的煤田，则应重点查明煤层露头部位及浅部的上覆含水层的厚度、粒度组成、水位、富水性及其与地面水和降水的关系。对于以岩溶水为主的煤田，则应重点查明能对矿井充水的岩溶含水层的岩溶发育程度、水位、富水性、补给条件、岩溶含水层与可采煤层之间的相对隔水层的岩性，厚度及其在平面上的变化；并预测其有无底板突水的可能以及可能突出的地段。所有精查报告中都必须预测新井第一水平的涌水量。

（三）根据含水层（带）的不同性质和特点运用不同的勘探方法和手段

煤田水文地质勘探的对象，既有孔隙含水层、裂隙含水层、岩溶含水层之分，又有断层含水带、风化含水带、地下强径流带之别，还有岩溶陷落柱、地表塌陷坑群、暗河等等。在埋藏条件、构造形式以及与煤层的相对关系上都多种多样，很难以用某种固定模式的勘探方法去合理、有效地进行勘探。而必须因地制宜、“对症下药”地运用适合于该含水层（带）特点的勘探方法和手段，才能收到事半功倍的勘探效果。例如群孔抽水方法只适用于埋藏很浅的含水层，而对于埋藏很深的含水层则以单孔抽水为主。又如对于渗透性能比较均一的含水层，抽水试验次数可以相对少一些；对于渗透性能非常不均一的含水

层，则抽水试验次数要相对多一些。再如对于四周被断层所包围或基本包围的井田，应重点查明各断层的阻水情况以及井田内直接充水含水层所能获得的补给量与补给途径。以便在煤层开采时能实行“围点打援”的策略。对于煤层底板以下或顶板以上存在强含水层的煤田或井田，则应重点查明煤层与强含水层之间的岩层的渗透性能与阻水能力，以便确定其能否起“保护层”的作用。这些，都是根据含水层的具体情况而采取相应的勘探方法。

（四）合理运用各种勘探手段，经济、有效地查明各种水文地质问题

水文地质勘探的手段很多，但其技术功能各有长短，所需费用也有高有低。我们在进行煤田水文地质勘探时，对各种勘探手段都要用其所长，避其所短，综合运用，以长补短，又好又快又省地查明各种水文地质问题。

（五）广泛利用煤田地质勘探的一切工程量来搜集水文地质资料和研究水文地质问题

在任何一个煤田、任何一个勘探阶段，煤田地质勘探工程量总是要比水文地质勘探工程量多得多。广泛利用这些工程量来调查、搜集水文地质信息和资料，不仅可以更全面地了解全区水文地质情况，更深入地发现和研究水文地质问题，起到单凭少数专门水文地质工程量难以起到的作用，而且还能一项工程多种用途，以最小的投资，达到最大的效益。

二、以岩溶水为主的煤田水文地质勘探

(一)底板岩溶水勘探

勘探底板岩溶水的目的是：查明煤层开采时底板下伏岩溶含水层中的水能否进入矿井？水量有多少？如何防治？因此，查明煤层底板下一定深度内的岩层渗透性能及岩体力学性质就成为底板岩溶水勘探的首要任务。在本书第六章中已有研究：煤层底板下伏含水层中的水能否突破采区底板进入矿井，取决于煤层底至下伏含水层顶板之间相对隔水层的厚度是否大于与临界水压相适应的临界厚度。根据相对隔水层厚度的不同，其水文地质勘探方法和重点亦有所差别：

(1) 相对隔水层厚度显然大于临界厚度时（例如 60～80m 以上）。在正常情况下下伏岩溶含水层中的水，不易突破隔水底板对矿井造成危害。只有通过岩溶陷落柱或落差较大的断层才能进入矿井。因此，对于这类煤田，只须查明是存在岩溶陷落柱及落差较大的断层以及它们的位置、产状和导水性。如果不存在陷落柱和断层，即使下伏岩溶含水层的水量很大，我们完全可以不去理它。还可以把这种煤田排除在底板进水型岩溶煤田之外。如黔西晚二叠世煤田。只有进行供水水源勘探时才会对下伏岩溶含水层做工作。

(2) 当相对隔水层厚度显然小于临界厚度时（例如小于 20m 时），下伏岩溶含水层中的水必然会突破采区底板进入矿井。因此必须对下伏岩溶含水层进行水文地质勘探。但其勘探深度应仅限于下伏含水层的顶板以下一定深度内（大于相对隔水层临界厚度）。不必也不应揭穿含水层的全厚，因为厚含水层的渗透性能在垂直剖面上总是不均匀的，总是强弱相间的，甚至还会夹有一些局部的隔水层。极大地阻碍着地下水的垂直运动。超过某一深度后，其下面的水已实际上难以越层向上流入矿井。而只能表现为平行于层的运动。尤其当岩溶含水层中夹有泥灰岩、石膏层、矽质层等时，更是如此。因此，对岩溶含水层应自上而下进行详细的岩性分析，特别是可溶性分析，以便找到一个渗透性较弱的层位作为对矿井起充水作用的含水层段的底界。然后对此“底界”以上的含水层段进行水文地质勘探和水量计算。

(3) 相对隔水层厚大致相当于临界厚度的变动范围（20～60m）时。下伏含水层中的水既可能突破采区底板，进入矿井，也可能安全开采，视水头压力高低与相对隔水底板岩体抗张强度的大小而定。因此，对这类煤田既要查明相对隔水层的强度、厚度及其变化，作出矿井开采时水压与相对隔水层厚度关系的临界曲线 $P=f(h)$，又要查明下伏含水层顶部的水文地质条件。指出未来矿井在采煤时何处能发生底板突水，何处能安全采煤，何处须采取何种防治措施（参阅第六章第五节）。

(4) 当煤层底板为弱含水层，其下又为强含水层时。此时底板弱含水层为直接充水含水层，下伏强含水会属间接充水含水层。进入矿井的水量取决于弱含水层的渗透性能，下伏强含水层即使水量很大，也无法直接进入矿井，只能作为弱含水层的补给水源。故水文地质勘探工程量应重点布置在弱含水层。对下伏强含水层只须作一般了解即可。陕西韩城、广西合山等煤田的水文地质勘探，都是这样做的。在韩城煤田，石炭二叠纪煤系直接覆盖于中奥统马家沟灰岩之上，主要可采煤层（11 号煤层）下距灰岩顶面仅 10～20m。上马家沟灰岩为白云岩、薄层状石灰岩、泥灰岩互层，并夹有多层薄层石膏，厚约 60m，岩溶不很发育，且垂直非均匀性很强。下马家沟组为厚层状白云质灰岩，厚 80～1000m，岩溶、裂隙比较发育，含水丰富。该层露头在走向上于禹门口被黄河切过，与黄河有密切的水力联系，形成沿走向近 200km 长的缓坡降、低水位（+380m 标高左右）的狭长条带。1976 年马沟渠煤矿在底板中掘进通向沟南副斜井的 +240m 水平主石门。在上马家沟灰岩中掘进时，虽遇有少量岩溶、裂隙，水量一直很小；揭露下马家沟灰岩时，突然大量涌水，最大流量 12000m^3/h，迅速将井巷全部淹没。迫使该矿不得不放弃主要可采层 11 号煤层（占总储量 52%）的开采，而只采 +380m 水平以上的上部煤层。显然，韩城矿区在无较大断层错动的情况下，煤层开采时下马家沟组中的岩溶水能否进入矿井以及进入多少，主要取决于上马家沟组的渗透性能，而不取决于下马家沟组究竟有多少水。因此，在韩城矿区水文地质勘探时，确定以查明上马家沟组的渗透性能为主要目的，将水文地质勘探工程量重点布置在上马家沟组中，只有少量钻孔延深至下马家沟组。对上马家沟组进行大口径、大流量、大降深的强力抽水试验，布置不同深度的观测网，进行水位观测。并有部分观测孔在对上马家沟组抽水的同时，观测下马家沟组的水位变化。结果证明：由于上马家沟组呈复杂的层状结构，垂直方向的渗透性能很差，可以视为相对隔水层，使下马家沟组中的岩溶水不但对矿井充水不起重要作用，而且连补给上马家沟组的水量也很少。马沟渠矿之所以淹井，完全是人为揭露下马家沟组之所致。

合山矿区上二叠统含煤地层合山组沉积于下二叠统茅口灰岩之上。合山组为浅海一滨海相含煤沉积。由石灰岩、生物碎屑灰岩、含燧石结核及硅质条带灰岩、砾屑灰岩、白云质灰岩、凝灰岩、泥灰岩、铝土泥岩及煤层组成。含煤 5 层，4 号煤层为主要可采煤层。5 号煤位于合山组的底部，只局部可采，但距茅口灰岩很近，一般不拟开采。合山组可分为上、下两段，4 号煤以上为上段，岩溶发育较差； 4 号煤以下为下段，厚 50～100m，一般 60m，岩溶发育强于上段，尤其发育在下段的顶部，而且每隔 2～3km 就有一条北西向的强岩溶径流带。各生产矿井只要遇上这些强径流带，底板就会发生大量突水。如柳花岭矿实测最大突水量为 96000m^3/d，溯河、里兰等矿均曾遭受过淹没（已恢复）；石村矿 1980 年 11 月突水总量 81600m^3/d 而淹没；马鞍矿于 -200m 水平突水、总涌水量 59040m^3/d 而淹井（现已部分恢复）。但在这些强岩溶带之间，岩深却不甚发育，煤矿仍

可正常生产。合山下段的岩溶发育程度又远不如下伏茅口灰岩。茅口灰岩厚约340～400m，为广泛分布于华南的高度岩溶化的强含水层。尤以上部40～60m，古岩溶异常发育，溶洞、落水洞，在地面到处可见。该煤田为一完整的不对称（东翼陡西翼缓）向斜盆地，未发现有大的断层。我们在对该煤田南部新区进行水文地质勘探时，采用了如下勘探方法：①合山下段为最主要的直接充水含水层，是水文地质勘探的主要研究对象；②对合山下段的岩性进行详细观察分层，并逐层取样进行可溶性分析，配合野外调查、流量测井及地球物理测井等工作，查清合山下段渗透性能在垂直方向的非均匀性。从而确定其对煤矿充水的主要含水层位及对下伏茅口灰岩岩溶水的阻水或导水能力；③沿4号煤层露头布置地面电法勘探，查明合山下段顶部北西向强径流带的具体位置。④在全勘探区布置观测合山下段及茅口灰岩并以合山下段为主的双层观测网，利用已淹没的马鞍煤矿井筒进行大流量、大降深抽水，同时进行全区水位观测。既能暴露与查明全区所有的水文地质问题，大范围查明合山下段渗透性能在平面上的非均匀性，又可查明茅口灰岩对煤矿充水的关系，还可部分恢复被淹没的马鞍煤矿。通过以上勘探，全面查明了合山煤田南部的水文地质条件。确定了平阳区与马鞍矿之间存在一个弱透水带，对平阳区非常有利，从而可以安全建井。同时也查明了煤矿充水的水源是来自合山下段的顶部及上部。由于合山下段岩性组合较复杂，垂直方向的渗透性能很差，茅口灰岩对煤矿充水基本不起作用。

（二）以顶板进水为主的煤田水文地质勘探

在第五节中已经研究过：位于煤层顶板以上的含水层，只要采煤冒落导水裂隙带能达到含水层底板，则此含水层中的水就将沿冒落裂隙进入矿井。不言而喻，对这类煤田的水文地质勘探就是要查明含水层之间的岩性组成，判定煤层开采时可能的最大冒落带高度及最大导水裂隙带高度；确定导水裂隙带与含水层底板之间还有无隔水或相对隔水的保护层；查明含水层中的水能否下人矿井？水量有多少？煤矿开采时应如何防治？现举例说明如下：

湖南涟邵煤田磴渡矿区东段含煤地层为早石炭世测水煤系。含煤系厚约190m，含煤5层，5号层为主要可采层，位于煤系底部粉砂岩、细砂岩及石磴子组顶部泥灰岩隔水层之上。5煤以上为细砂岩、中砂岩、粉砂岩及泥岩等，含弱裂隙水。测水煤系之上为晚石炭世梓门桥组，上部为纯灰岩夹泥质砂岩及泥灰岩含岩溶裂隙水。下部为泥灰岩及钙质泥岩，为隔水层。梓门桥灰岩之上为强烈岩溶化的壶天灰岩强含水层。在正常情况下，煤层是位于上、下隔水层之间，水文地质条件很简单。但由于金盘仑断层将壶天灰岩及梓门桥灰岩直接推覆于煤层顶板之上（参阅图1－4），使煤层浅部形成一个沿走向长11.5km，面积约$20km^2$的顶板隔水层缺乏区。煤层开采时，壶天灰岩及梓门桥灰岩中的岩溶水将可以直接进入矿井。其中约$8km^2$面积，煤层顶板直接与壶天灰岩接触，$12km^2$面积，煤层顶板与梓门桥灰岩接触。煤田之上展布着一片触目惊心的岩溶景观，沿煤层走向在煤层顶板露头处出现观音洞、落水洞、响水洞、莲花洞等岩溶泉群。其中壶天灰岩观音洞的流量为$0.538\sim37.73m^3/s$。

根据以上情况，可进一步将磴渡东段勘探区分为三个不同水文地质条件的区段：①水文地质条件极复杂区，在此区段内，煤层顶板至壶天灰岩的距离小于50m，煤层开采时，壶天灰岩中的水可以直接通过冒落带或导水裂隙带进入矿井。②水文地质条件较复杂区，在此区段内，煤层顶板至梓门桥灰岩的距离小于50m，煤层开采时，梓门桥灰岩中的水可

以直接通过冒落带或导水裂隙带进入矿井，但壶天灰岩中的水须通过梓门桥灰岩才能进入矿井，壶天灰岩只能是间接充水含水层。③水文地质条件简单区。在此区内，煤层至梓门桥灰岩的距离大于 50m，煤层系位于上、下隔水层之间，煤层开采时，冒落带及导水裂隙带难以直接接触上覆含水层的底板上覆含水层中的水难以进入矿井。由于极复杂区直接充水含水层为水量极大的壶天灰岩，难以用正规矿井开采，只宜用小井探采或试采，无须进一步投入水文地质勘探工程量；较复杂区直接充水含水层为岩溶不很发育的梓门桥灰岩可以正规开采，但须进一步查清梓门桥灰岩的渗透性能及富水性，并计算其在煤层开采时的矿井涌水量。简单区则只须用少量工程量对煤层顶板裂隙弱含水层及隔水层作检查了解即可。这样一来，一个外貌非常复杂的以顶板岩溶水为主的煤矿区就被简单明了地勘探清楚了。

（三）封闭及半封闭型含水层或含水层段的水文地质勘探

任何一个含水层，其进入矿井的水量，都只能是由两部分组成：一是含水层的贮存量，二是补给量。对于规模不大的封闭型含水层或被构造切割的封闭型含水块段，由于缺乏充足的补给量，将很容易被矿井疏干。即使含水层未完全封闭，局部地段尚有部分补给，其补给水量总比完全四面畅通的补给量为小。矿井防治水时还可以利用“外堵内排”的办法，很容易地予以防治。

在我国，这种封闭或半封闭型的煤田或煤田的局部地段是比较多的。例如我国南方的一些小型煤田以及北方煤田中的某些被断层切割的块段，在水文地质条件上都处于封闭或半封闭状态。如果在这些封闭或半封闭型的煤田或块段中建井，并因地制宜地将自然隔水或半隔水边界作为井田边界，则不论井田边界外的水文地质条件如何复杂，边界内的矿井水文地质条件将会很简单或比较简单。如果某一以岩溶水为主的煤田被构造分割成几个彼此互不连通的区段，我们就可以利用这些互不连通的自然区段分别建井，其矿井涌水量必将由于补给条件差而不会很大。这样，就达到了“分而治之”和“各个击破”的目的。

我们在进行以岩溶水为主的煤田水文地质勘探时，应注意是否存在这种封闭或半封闭的水文地质区段，并进一步查明其封闭程度及半封闭的补给途径与补给量。为将来建井时合理地采取防治水措施，提供决策依据。

对于被断层所包围的区段在确定其封闭程度时，应具体研究每一边界断层两盘岩层的对接情况：边界内的煤层及直接充水含水层是否有与边界外的含水层对接之处？其对接面积及渗透性能如何？边界内采煤时，边界外的补给量有多少？这些都须予以一一查清。不应仅根据边界断层抽水试验时两盘钻孔水位观测资料来简单地判定其为“隔水”或“导水”。因为：①很薄的断层泥可以使抽水试验时的观测孔水位呈隔水反映，但不能代表在煤层开采时仍能阻止断层另一侧的含水层中的水进入矿井。②同一断层的不同部位，其隔水或导水性能可以大不相同，而钻孔抽水试验则只能代表钻孔附近断层的有限部位，不能代表整条断层。

三、以裂隙水为主的煤田水文地质勘探

(一)裂隙含水层的勘探

在第五章中已经论述：裂隙含水层的最主要、最普遍的特征是其渗透性能随着埋藏深度的增大而显著减小。因此在煤田水文地质勘探中必须充分重视、适应和利用这个规律。

对于主要直接充水含水层应根据矿井设计的深度、相应了解其浅部、中部及深部的渗透性能。在预测矿井涌水量时，应采用与矿井深度相适应的参数。如以浅部的参数来计算深部矿井的涌水量，必然失之过大，造成矿井排水能力过大的浪费；如以深部的参数来计算浅部矿井的涌水量，则又必然造成排水能力设计过小的危险。

在东北区北部（黑龙江、吉林）的各中生代煤田中，岩层渗透性能与岩性的关系不很明显，与埋藏深度的关系却非常显著。故该区的煤田水文地质工作者常不按岩性划分含水层，而横跨不同岩层划分为不同埋深的含水带。一般 70～80m 以上为强风化裂隙含水带，以下至 150m左右为亚风化裂隙含水带，再以下为微弱含水带。这种形式后来成为该区煤田水文地质勘探的常规，该区各中生代煤田的大量抽水试验资料与矿井涌水资料，都已充分证明这种方法是符合该区的实际情况的。

裂隙岩层的渗透性能随着埋藏深度的增大而减小的规律，在其他地区也普遍存在，只不过岩性的作用尚不能忽视而已。在煤田水文地质勘探时，既要考虑岩层渗透性能随埋藏深度的变化，又要考虑其与岩性的关系。

(二)断层的水文地质勘探

断层是一种有位移的构造裂隙带。它的透水性与含水性极不均一，不仅不同的断层具有不同的含水性与透水性，即使是同一断层，其不同部位的渗透性能也不尽相同以至完全不同。同一断层、同一部位的不同方向，其渗透性能也可以完全不同。因此，如何正确地进行断层水文地质勘探，是一个值得研究的问题。

由于断层一般切过若干不同的岩层，同一断层的不同部位及其两盘的岩性各不相同，因而各部位、各方向的渗透性能也各异。我们在煤田水文地质勘探中不可能花费很多工程将每一断层的每一部位及每一方向的渗透性能都勘探清楚，而只能根据煤矿设计和生产的需要，对一些有重要水文地质意义的断层的有关部位，布置少量的工程量，查明某些必要的水文地质问题。

当未来矿井巷道可能要穿过某个断层时，则应在可能被井巷穿过的部位进行抽水试验，且试验段应包括断层面及其上、下两盘各 30～40m 的范围。因为许多断层不一定是断层面含水，而往往是断层面附近两盘中的裂隙带含水。

当某断层落差较大，可能成为井田边界时，则应在边界内的一侧进行抽水试验，而在边界外一侧进行水位观测。试验段应包括主采煤层，或直接充水含水层，观测段则应设在边界外的主要含水层中，试验段与观测段都不应包括断层面。

由于同一断层不同部位的两盘岩性可以各有不同，故对断层的抽水试验必须注意其代表性。如某一断层的两盘岩性变化较大，一个部位的抽水试验资料尚不能满足矿井设计和生产的需要时，则还应另补其他部位的抽水试验。

当某一井田或勘探区，断层众多，不可能一一进行抽水试验时，除了选定其中对煤矿生产影响较大的少数断层的适当部位进行抽水外，其他断层则应通过各种勘探钻孔的简易水文地质观测资料来大致评估其透水性。

四、以孔隙水为主的煤田水文地质勘探

以孔隙水为主的煤田可分为两种情况，一是裂隙型或岩溶型煤田之上就有新生代松散含水层，二是煤系本身就含有松散砂层的褐煤田。随着二者的特点彼此不同，其水文地质

勘探要领亦各异。

（一）煤系上覆松散砂砾含水层的勘探

首先必须明确指出：在煤田水文地质勘探时，我们所需要勘探的煤系上覆松散砂砾含水层应该是对煤矿建设和生产有影响的含水层，亦即对煤矿能起充水作用的含水层，否则我们可以不去理它（供水水源勘探除外）。

第五章中已经论述，只要煤层开采时的顶板冒落所产生的导水裂隙带能触及上覆含水层的底板，则此上覆含水层将对矿井起充水作用。如果冒落导水裂隙带与上覆含水层底板之间尚存在 10m 以上的保护层（隔水层）时，则此上覆含水层将不对矿井充水。如果上覆砂砾含水层之下又直接伏有风化裂隙含水带时，则冒落导水裂隙与风化裂隙带之间须有一定厚度的保护层才能阻止或减少上覆砂砾含水层中的水通过风化裂隙带及冒落导水裂隙带进入矿井。

这类煤田的水文地质勘探要领为：①查明煤层顶板至上覆含水层底板之间的岩性及力学性质，预计采煤冒落带及导水裂隙带的最大高度；②如含水层底板与冒落导水裂隙带之间，无可靠的保护层时，则需预计采煤时上覆含水层进入矿井的水量；③如果上覆含水层对矿井充水量较大时，则应提供防治水措施的建议。

关于预计采煤冒落导水裂隙带最大高度的方法，在第五章中已作了介绍。只要在勘探时查明了煤层厚度、顶板岩性及其力学性质，就可以按照有关公式来预计冒落导水裂隙带的最大高度及确定导水裂隙带与上覆含水层底板之间有无保护层，从而预测采煤时上覆含水层中的水能否进入矿井。

当砂砾含水层直接覆于基岩风化含水带之上时，基岩风化带裂隙带深度的确定是非常重要的。由于风化裂隙是一种从浅至深由强变弱的渐变现象，没有确切的“底板”，在平面上也是参差不齐的，故必须全面研究各勘探钻孔的岩心、岩心采取率、简易水文地质观测资料及物探测井资料，尤其是流量测井资料，才能粗略确定其深度。并在考虑保护带时留有必要的余地。

当采煤冒落导水裂隙带与上覆含水层之间缺乏保护层时，上覆含水层中的水将通过导水裂隙带及冒落带进入矿井，水量大小取决于上覆含水层的含水性，尤其是含水层底部的渗透性能，以及导水裂隙带接触含水层底板范围的大小。

当导水裂隙带与风化裂隙带或弱透水层相接时，则上覆含水层进入矿井的水量还取决于风化裂隙带或弱透水层的透水性。

所有上述这些，都必须在水文地质勘探时予以查清。

（二）褐煤田中煤层顶底板疏松砂岩含水层的勘探

在我国第三纪褐煤田中，煤系中的砂质岩层常呈松疏或半胶结状态，以含孔隙水为主。位于煤层顶板的含水层能直向矿井充水或通过冒落带和导水裂隙带向矿井充水。位于煤层底板的含水层则可能产生底鼓和突水。当含水层为未胶结的含水粉、细砂层时，往往能形成流砂溃入矿井，造成毁灭性的灾害。尤其当粉细砂层含有亲水矿物时，使水、砂不易分离，为害更甚。

对这类含水层的水文地质勘探，就是要研究其对于煤层开采的危害程度。对于中、粗粒度以上的疏松砂岩，应着重研究其对于矿井的充水量；对于粉、细砂层，则应着重研究其形成流砂的可能性。对于前者，除了要查明含水层自身的富水性外，还要查明含水层与

煤层之间的岩层的渗透性能，对于后者，则应查明含水层的粒度组成、矿物成分（应特别注意亲水矿物的含量）及其物理力学性质与水理性质。

五、井筒检查孔的水文地质工作要领

井筒是矿井的门户和咽喉，是全井特殊重要的部位，同时由于井筒开凿的施工条件特殊，受工作空间的严格限制，对施工方法、排水设备与防治水措施的选择，都要求事先有周密和准确的准备。才能保证凿井工程的安全和顺利进行。故在井筒开凿以前都要求打井筒检查孔，确切查清井筒所将要穿过的岩层的具体岩性和构造（包括断层、裂隙和破碎带），并准确预计每一含水层的具体涌水量，以满足井筒开凿施工设计的需要。

以往由于缺乏基建地质勘探这个阶段，对井筒检查孔的技术要求与施工方法研究不够，对井筒涌水量的预计往往非常不准，给井筒开凿造成很大的损失与麻烦。这样的教训是很多、很深的。

50 年代中期，蛟河煤矿奶子山立井在打井筒检查孔时，从地表往下至 30m 作了一次抽水试验，发现水量很大，鉴于试验段距不大，地表以下又无第四系含水层，故认为：从表土往下是一个近 30m 厚的富水的风化裂隙含水层。预计井筒涌水量为 $280m^3/h$，建议凿井时采取防水措施。但到凿井时，凿到十几米，二十几米，水量不过每小时几立方米至十几立方米，凿井人员便认为井筒检查孔资料不准，没采取防水措施。当井筒凿到 30m 时遇一大裂隙，水量猛增至 $240m^3/h$ 井筒迅速淹没。不得不在井筒周围打几十个注浆孔，注入水泥 250t，停工半年多，才恢复凿井。这显然是由于井筒检查孔抽水时对出水位置缺乏准确的测定手段，对出水位置判定不准而导致疏于防范之所致。而这一点又恰恰是目前和已往大多数井筒检查孔的通病，而且多数井筒检查孔对出水位置判定的准确程度还不及奶子山立井井筒检查孔。可见问题何等严重，何等普遍。

70 年代的临涣立井、兴隆庄立井，都因井筒涌水量预测不准而造成巨大的损失；1982 年施工的 42 个立井中竟有 20 个被淹，也都是由于井筒涌水量预测不准之所致。

要想准确地预测井筒涌水量，必须认真做好井筒检查孔的水文地质工作。

井筒检查孔的水文地质工作要领为：

（一）井筒检查孔的布置与要求

井筒检查孔的布置与要求，有立井与斜井之分，其中斜井又有正斜井与反斜井之别。

立井井筒至少每一井筒布置一个检查孔，而且最好是布置在井筒中心。但为了防止因遗留套管或封孔不良而给凿井带来麻烦，在含水层比较均一的情况下亦可紧靠井筒外围布置。

顺着煤层或煤层底板掘进的正斜井，如地质及水文地质情况已经清楚，一般可不打井筒检查孔。如果斜井井筒须穿过或揭露含水层时，则应在预定穿过或揭露含水层的最低部位布置井筒检查孔。当反斜井所预定穿过的含水层不止一个，而且间距又较大时，则应在预定穿过每一含水层的最低部位分别布置检查孔（图 10-1）。

所有井筒检查孔的终孔深度都应大于井筒设计深度（立井）或井筒预定穿过、揭露含水层的深度。

（二）井筒检查孔的钻进

为了减少钻进时泥浆及岩粉对含水层的堵塞作用（参阅本章第二节），井筒检查孔的

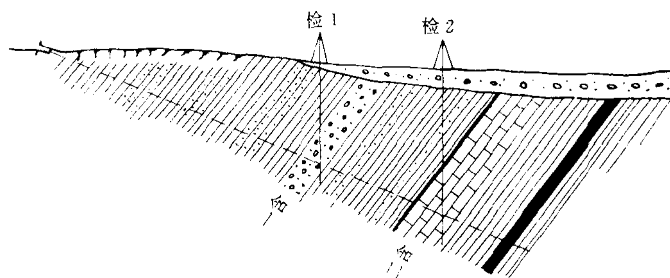


图 10－1　反斜井井筒检查孔的布置示意图

钻进应采用反循环工艺。当含水层的水头高出地表，钻进中始终保持涌水状态时，亦可用正循环钻进。如果不具备上述条件，又不得不采用正循环钻进时，则应求得含水层的堵塞系数，以便推算含水层在被堵塞以前的渗透性能（具体方法见后）。

井筒检查孔的井径必须符合该孔抽水试验及流量测井的要求，终孔井径不应小于110mm。

钻进时必须保持较高的岩心采取率，以便进行岩心描述和采样工作。

岩心描述除了满足煤田地质上所要求的一般项目外，还应特别注意粒度组成、胶结物与胶结程度以及裂隙、岩溶及其充填情况等的描述。

必须做好简易水文地质观测，应特别注意涌水、大量漏水、水位突变等特殊现象的观测和记录。

当钻孔发生大量漏水，冲洗液不能循环时，应立即停止钻进，进行抽水试验和流量测井（即使未达到抽水试验的设计深度）。然后才能封闭出水点和继续钻进。

（三）抽水试验和流量测井

由于井筒开凿时需要预先知道揭露每一岩层、每一深度的涌水量，故井筒检查孔必须确切查明钻孔中每一含水层（或出水点）的层位、厚度、水位、水量、渗透系数及其垂直非均匀性。既不应漏掉任何一个含水层或出水点，也不应错划一个含水层或扩大含水层厚度，更不应将一大段由各种岩石组成的岩层组笼统地作为一个含水层，以这个岩层组的总涌水量作为一个单一含水层的涌水量，以这个岩层组的平均渗透系数作为单一含水层的渗透系数。

要想确切查明钻孔中每一含水层或出水点的水文地质参数，单凭传统的抽水试验方法是难以达到目的的。这是因为钻孔中的含水层往往较多、较薄，事先难以准确确定其层位的厚度（参阅本章第二节）；同时由于钻孔结构和施工技术条件的限制，抽水试验段不可能划得很多、很细，只能分几个大段进行。显然是不可能分层查明那些多而薄的含水层和出水点的水文地质参数的。实践证明，大量的淹井事故往往发生在井筒揭露那些较薄的含水层或出水点时。要想准确解决这个难题，就必须在抽水试验的同时，配合进行流量测井，才能收到事半功倍、了如指掌的效果。

为了减轻钻进时冲洗液及岩粉堵塞作用的影响，井筒检查孔的抽水试验的段距不宜过大，一般以不大于150m为宜。

在正式进行抽水试验以前，必须采取有效措施（如活塞洗井、液化 CO_2 洗井、化学洗井、反复抽停洗井等）清洗井壁，直至开泵的瞬时水色仍保持澄清为止，以求最大限度地消除钻进时岩粉堵塞作用对井壁渗透性能的影响。这是保证抽水试验成果质量的关键所在。

井筒检查孔的抽水试验以非稳定流法为宜。如果需要求得流量与水位降低的关系，亦可再增加两次不同流量的抽水，用稳定流法求出其 $Q=f(s)$ 曲线。

在抽水试验的同时必须进行流量测井（具体方法详见本章第三节）。在上段抽水试验完毕后，无须进行封闭止水，即可继续钻进下段。然后对上、下两段进行混合抽水及流量测井。然后继续钻进至第三段，进行一、二、三段的混合抽水和流量测井。以下照此例推。这样，位于上段的含水层就具有多次流量测井资料。将上段中某一含水层的多次流量测井资料进行对比，研究其渗透性能有无变化。如上段中某含水层在上、下段混合抽水时的渗透性能显著小于它在上段单独抽水时的渗透性能时，则说明该含水层在上段抽水后继续向下段钻进时又进一步受到了冲洗液中的泥浆或岩粉的堵塞，虽经过清洗井壁及抽水试验，仍未能完全恢复其在上段单独抽水时的渗透性能。据此可推断，该含水层在上段抽水试验时也同样难以完全消除其以前在钻进时所受的堵塞作用的影响。在上段抽水试验时所测得渗透性能，虽较其在以后上、下段混合抽水试验时所测得的渗透性能为大，仍应认为它还是未完全消除堵塞作用影响条件下的产物，它还不是该含水层未经钻孔揭露前原有的渗透性能。因此，还应按下式推求其原有的渗透系数 K_0。

$$K_0=K_1+\alpha K_1 t_1 \tag{10-1}$$

式中　α——堵塞系数。其值为

$$\alpha=\frac{K_1-K_2}{K_1 t_2} \tag{10-2}$$

以 α 之值代入前式得

$$K_0=K_1+(K_1-K_2)\frac{t_1}{t_2} \tag{10-3}$$

式中　K_1——上段抽水试验时某含水层的渗透系数；

K_2——上、下段混合抽水试验时该含水层的渗透系数；

t_1——上段抽水前该含水层经受的钻进时间（h）；

t_2——下段的钻进时间（h）。

从式(10-3)可知当 $K_1=K_2$ 时，则 $K_0=K_1$ 说明此时堵塞作用的影响已完全消除。

(四)井筒涌水量预测

井筒涌水量预测是井筒检查孔的主要最终成果。预测的涌水量数字及涌水层位是否准确，直接关系到井筒开采工程是否顺利，工人生命和国家财产是否安全。因此，必须予以充分重视，并须遵循和注意以下两点：

(1) 必须分层预测井筒开凿时每一含水层或出水点的涌水量的具体数字。严禁将几个含水层或出水点混合在一起或将几个含水层或出水点当作一个含水层或出水点进行预测，更不能将井筒分几个大段进行预测。

(2) 应预测井筒揭露每一含水层时的最大涌水量，而不是稳定或衰减以后的涌水量。

因此，涌水量计算方法应以非稳定流法为宜，而不宜采用稳定流法，更不宜采用按稳定流抽水所得 $Q=f(s)$ 曲线下推的方法（参阅本章第二节）。

（五)水平流速及流向测定

如果井筒要穿过很厚的松散含水砂层，决定采用冻结法施工时，则井筒检查孔对此段可不进行抽水试验和流量测井，但须进行水平流速及流向测定，以满足冻结设计的需要。

水平流速及流向测定应能确切代表未来井筒的冻结范围内的实际情况，因而所采用的测定方法应能包括全部拟冻结的范围。不宜仅在一个钻孔中测定孔中流速流向（例如用扩散法测定流速、流向），用以代表整个冻结范围。还必然指出；①钻孔中的水力梯度远小于含水层的自然水力梯度，因而钻孔中的水平流速也必须远小于含水层中的自然流速。 ②地下水是沿含水层中的裂隙及岩石颗粒间的孔隙运动的。在平面上虽然有一定的总流向，但在某一具体点上，其局部流向往往受裂隙和孔隙的方向限制而与总流向不一致。

第二节　　有关抽水试验的几个问题

众所周知，抽水试验是水文地质勘探的主要手段之一。然而直到目前为止，其中尚有一些重要问题须待进一步研究。现就其中最主要的几个问题讨论如下：

一、含水层层位及厚度的确定问题

抽水试验的目的就是为了正确获取含水层的各项水文地质参数。含水层的层位及厚度又是参数计算的基础和先决条件。对于任何一个抽水井，如果含水层层位不清，就无法正确地划分含水层与隔水层和正确地确定含水层的层数；含水层的厚度不清，就不能正确地计算含水层的渗透系数和评价含水层的渗透性能。虽然在计算导水系数时，似乎不需要了解含水层的厚度，但不知道厚度的导水系数，只能用以粗略地评价抽水井的整个试验段内笼统的导水性能，而不是某一确切含水层的准确参数。这对于要求查明含水层的具体层位和厚度的煤矿防排水工程和矿床水文地质勘探来说，显然是不适宜的。这些，都是人所共知的道理，无须细说。

然而直到目前为止，从表面上看，虽然所有的抽水试验资料都有含水层的层位、厚度、渗透系数等各项具体数据；实际上，大多数抽水试验资料中所提供的含水层层位、厚度都不够确切，从而所计算的渗透系数也都不够可靠。这是由于以往对抽水井中含水层层位及厚度缺乏可靠的测试手段之所致。

以往在抽水试验井的设计时，对预定要进行抽水试验的含水层层位及厚度，一般是根据区域水文地质资料及预想的钻孔岩性柱状图划定的。设计的试验段是否恰好是一个含水层，试验段的上、下限是否恰好是含水层的顶、底板，由于缺少确切的依据，没有多大把握。

钻孔施工和抽水试验一般是按设计进行，除了遇到特殊的构造变动外，不会有大的改变。抽水试验完毕后也只知道在整个试验段内抽出了多少水，水位降低了多少；至于水是从整个试验段内均匀流出，还是出在哪一处岩层或哪几处岩层，何处出多少；试验段内是一个含水层，还是几个含水层，其顶、底板位置各在何处；这些问题都难以确切知晓。以往处理这些问题的办法，一般有如下几种：

（1）把整个试验段视为一个含水层或含水段，试验段的上、下限视为含水层或含水段的顶、底板，试验段距视为含水层或含水段的厚度，把抽水流量视为从整个含水层或含水段中均匀流出，以此为基础所计算出的渗透系数视为这个“均匀含水层”或含水段的渗透系数。很显然，这种处理方法，只有当试验段内恰好是个厚度等于试验段长度的均质含水层时才是正确的。在绝大多数情况下，这种处理方法只能得出全试验段内全部岩层的平均渗透系数值，而不是含水层的渗透系数值。

（2）根据钻孔岩心鉴定、简易水文地质观测及岩心采取率等资料，对试验段内的岩层进行逐层分析，将认为可能是含水层的岩层的厚度加在一起，作为含水组的厚度，抽水流量作为含水组的总流量，以此为基础所计算出的渗透系数作为此含水组的渗透系数。这种处理方法，即使含水组的厚度判定得很准确，也只能得出含水组的平均渗透系数，而不是各分层的真实渗透系数。何况仅根据岩心和简易水文资料来判定含水层层位及厚度，还存在一些不确切的因素：

①岩性固然是研究水文地质条件的重要依据，但单凭岩性，是不可能在此情况下对岩层的含水和隔水情况作出正确判断的。例如，在实际工作中，我们遇到的石灰岩、砾岩、砂岩，不一定都是含水层；坚硬的页岩和火成岩、变质岩，也不一定都是隔水层。这主要取决于它们的充水空间（包括孔隙、裂隙、溶洞等）的发育程度、充填程度、胶结状况和胶结物的性质。在研究钻孔的水文地质剖面时，这些条件往往由于钻探施工各种因素的干扰及岩心采取不足的影响，致使人们难以通过岩心观测获得准确的定量资料。即使是未胶结或半胶结疏松沉积物，也并不是在所有的情况下都能根据岩心观察得出正确的判断的。例如被粘土充填的砾石层，本来不透水或透水性很差，但在钻探施工中粘土往往被冲洗液冲去而只取上砾石时，就很容易错误地把它判定为渗透性能很强的含水层。

②岩心采取率虽然也可以作为判定含水层、隔水层的参考，但采取率低的岩层并不一定都是含水层，也可能是软弱的粘土层，或者是钻探方法和取心技术方面的原因造成的。

③钻孔简易水文地质观测，固然是判定含水层、隔水层的依据之一，但由于它所受的影响因素太多（如冲洗液的粘度、比重、成分，含水层的静止水位埋藏深浅等），也只能大致反映出可能存在的主要含水层或透水性较强的层、段部位，而不能获得含水层的层数、厚度等定量数据。

（3）有些抽水井还进行了地球物探测井，以了解井内含水层的层位、厚度及相对渗透性能，作为抽水试验的辅助手段。这种做法当然是好的，但其中也存在一些问题。用物探测井方法测定含水层的层位、厚度及相对渗透性能，效果比较好的为井液电阻率法（即所谓“扩散法”）但也只有在比较理想的条件下，才能获得较好的结果。如果含、隔水层的结构比较复杂，往往难以获得准确的资料，甚至得出错误的结论。例如：

①当钻孔涌水时，一般只能测出最下面的一个涌水层的底板（图 10－2）。这个涌水层的顶板和以上的其他含水层，则不易测出。因而易于把上覆

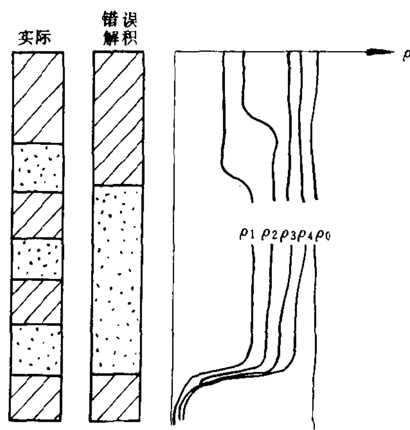


图 10－2　钻孔涌水时井液电阻率法曲线

的含水、隔水层漏掉，并错误地夸大了最下一个含水层的厚度。

②当钻孔揭露两个以上不同水位的含水层，各含水层之间发生相互补给时，往往只能测出一部分含水层的顶板或底板（图 10－3），而很难测出每一含水层的具体厚度，甚至还可遗漏一部分含水层。

③在井液的各部分之间，由于指示剂浓度的差异而引起了扩散作用，以及流体仪（即探头）的上下扰动，往往使井液的界面不清（图 10－4），影响解释的准确性。

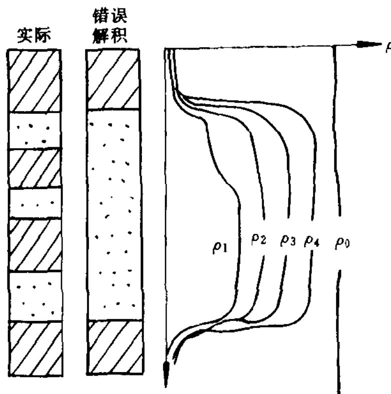


图 10－3　钻孔中含水层间有相互补给时井液电阻率曲线

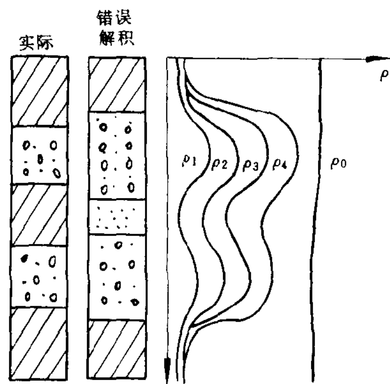


图 10－4　井液各部分浓度扩散导致界面不清

至于其他测井方法如伽马伽马测井、中子伽马测井、自然电位测井、视电阻率测井及声波测井等，对于测定含水层的层位及厚度来说，虽都能获得一定的效果，但也各有不足之处，这里就不一一加以评述了。

确定含水层层位、层数、厚度及分层渗透性能的最有效的方法，是在抽水试验的同时进行流量测井。通过流量测井，可以将试验段内所有岩层在抽水试验中的出水量大小、水位高低搞得清清楚楚，使含水层与隔水层的划分、含水层的层数、每一含水层的层位、厚度各分层的渗透性能及其垂直非均匀性，一目了然。可惜这一先进手段，目前还使用得不够广泛。在本章第三节中将予以简要介绍。

二、稳定流抽水与非稳定流抽水问题

从 1935年泰斯提出非稳定流的井流公式以来，水文地质界就一直存在着稳定流抽水与非稳定流抽水之争。

(一)抽水流场问题

讨论这个问题时，不妨让我们观察一下抽水试验时流场变化的实际情况：

抽水开始以前，如果井中及其附近的地下水位无显著变化时，则其地下水流场可以认为是稳定流场。

抽水开始后，在最初时，井中水位迅速降低，在井的周围迅速出现一个不断向外扩展的降落漏斗，并且形成一个地下水向井中汇流的集水范围（图 10－5)。此时井中抽出的水量除了一部分来自集水范围内所截获的天然地下径流外，主要的还是来自集水范围内含水

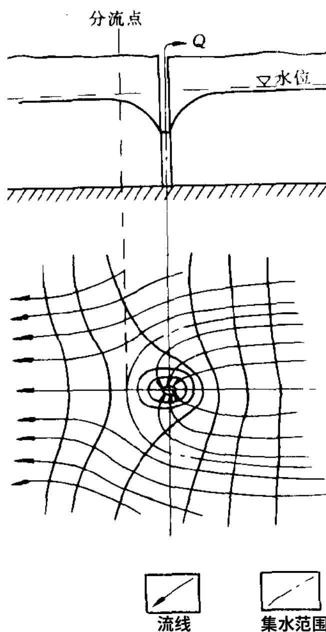


图10-5　地下水向井中汇流的集水范围

层中贮水量的释放（在无越流补给的条件下）。集水范围外至降落漏斗范围内虽然也存在贮水量的释放，但未流入井中而是流向井的下游。此时在整个抽水流场内，地下水的运动显然是非稳定流状态。

随着抽水的继续进行，集水范围和降落漏斗都不断扩大，所截获的地下径流量亦随之不断增多。如以定流量抽水，则抽出水量中释放水量所占的比例必将逐渐减少，而且含水层中释放水量的地段也不断向外推移，抽水井附近地段所释放的水量将越来越小，以至可以略而不计。当集水范围内所截获的地下径流量加上距抽水井某一距离外至集水范围内的释放水量，足以与井的抽水量平衡时，则距抽水井这个距离内的地下水位趋于稳定，贮水量停止释放，此范围内的地下水流就转化为稳定流；而在此范围以外，水位仍在继续下降，贮水量在继续释放，地下水流仍为非稳定流。随着抽水时间的继续延长，稳定流区将逐渐扩大，非稳定流区则进一步向外推移。

抽水流场的以上发展过程和现象，我们在实际抽水时经常可以看到。总是抽水井首先稳定；观测孔的水位，则是按离抽水井的距离，由近及远，依次趋于稳定。

当集水范围内所截获的地下径流量足以平衡井的抽水量时，则集水范围将停止扩大，集水范围内含水层的贮水量也将停止释放，因而整个集水范围内的流场都转化为稳定流场。只要所截获的地下径流量能保持常量，此稳定流场将不会改变。但集水范围外的降落漏斗仍继续扩大，贮水量的积放也继续进行，故仍为非稳定流场。此时，非稳定流区是在井的集水范围以外，其地下径流和含水层的释放水量均不流入抽水井，而是流向井的下游，成为下游地下径流的组成部分。这个集水范围外的非稳定区和降压漏斗，随着抽水时间的继续延长而不断扩展，在理论上可达到整个含水层，直至形成抽水条件下补给与排泄的新的平衡和新的稳定。但当钻孔的抽出流量远远小于含水层在自然状态（或原有的动平衡状态）下的补给量时，降压漏斗的扩展幅度在离抽水井一定距离的地方已小得无法观测到，或者消失在地下水的动态变化之中了。

如果含水层不存在天然地下径流，在抽水前的地下水面是水平的。则抽水时井的集水范围与降落漏斗将完全一致。井的抽水量将完全由降落漏斗范围内含水层的释放水量来提供。随着抽水的继续进行，除非引起新的补给，而且足以平衡井的抽水量时，降落漏斗将不断加深和扩大，一直扩大到含水层的边界。整个流场始终保持非稳定，不会出现稳定流。但是在实际工作中，如果含水层的分布范围和厚度较大，抽水量在相形之下又较小时，降落漏斗扩展的速度和幅度越来越小，后来就可能几乎察觉不出来了。

在抽水流场变化过程中，流网形态也在随之变化。以潜水为例；抽水开始时，由于抽出水量主要来自抽水井附近含水层的疏干，故其流网形态如图 $10-6a$ 所示。随着抽水时

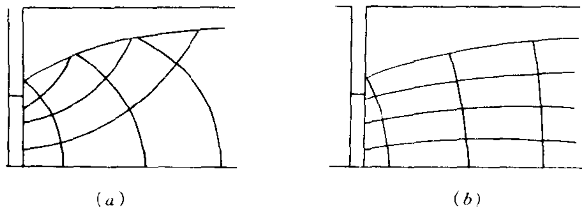


图 10－6　抽水流网的变化状况示意图

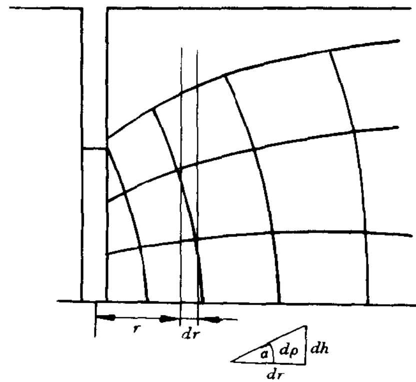


图 10－7　圆柱面上部与下部流线的水力坡度不同

间的延长，影响范围扩大，重力疏干地段向外围推移，井周围的含水层主要起导水作用，就可以转化图 10－6b 所示的流网。此时，可视为稳定流网。

总的说来，抽水试验时既可以出现非稳定流，又可以出现稳定流。但各有其出现的时空条件。在一定的条件下，非稳定流可以转化为稳定流；当条件改变时，稳定流又将转化为非稳定流。只要我们能正确地认识和掌握这些条件，恰当地采用与之相适应的抽水、观测和计算方法，无论稳定流抽水或非稳定流抽水都可以获得满意的结果。

在实际工作中，我们还可以根据具体情况，灵活运用稳定流方法与非稳定流方法。例如：当抽水量为常量时，如果抽水井及其附近的观测孔水位稳定不变，或者变化很小很慢可以略而不计时，可以把这个区域视为处于稳定状态。假如此在范围内没有显著的垂向补给，那就可以认为钻井所抽的水量来自这个范围以外，不管是来自这个范围以外的含水层的贮水量的释放，还是来自径流补给或越流补给，这个范围以内的含水层此时可视为只起导水作用，并无贮水释放。采用稳定流方法进行计算，应该是可以的。这就是多年来我们用稳定流方法进行抽水之所以行得通，而且在许多情况下尚能获得较好效果的根本原因。至于在达到这个相对稳定状态以前的变化过程，以及在此范围以外的状态，可以用非稳定流方法求导水系数及贮水系数。如果含水层比较均质或者计算范围相同，两种方法所求得的导水系数应该基本一致。

既然如此，我们就可以对某些钻孔的试验资料，采用稳定流方法与非稳定流方法相结合来进行计算：凡是抽水井及其附近的观测孔水位达到稳定的，我们就可以用稳定流方法对这个范围内的资料进行计算，并把达到稳定以前的过程用非稳定流方法进行计算。用两种方法求得的参数进行互相验证，互相校正，应该比单用一种方法更为可靠。

(二)计算公式问题

对抽水成果进行水文地质参数计算的公式很多，概括起来，不外乎两大类：一是以裘布依公式为代表的稳定流公式；一是以泰斯公式为代表的非稳定流公式。

半个多世纪以来，裘布依公式受到不少批评，概括起来，主要有如下几点：

(1) 裘布依井流公式原是以湖中圆形岛中心的抽水井为依据导出来的，并假设无渗入、无越流补给、无弹性释放，井的流量完全依靠含水层的径向补给，通过每一过水断面

的流量均相等。裘布依公式原来规定，圆形岛的半径为 r，这是无可非议的。但是后来移用于陆地，r 却演变为影响半径。认为影响半径以外的地下水位和水力坡度不受抽水影响，仍保持抽水前的状态。这样一来，就必然产生如下矛盾：

①如果抽水前的地下水面为水平面，亦即含水层的天然径流量等于零，则抽水时影响半径范围以外的流量仍必等于零。既然无渗入、无越流补给、无弹性释放，影响半径范围内的流量（即井的流量）从何而来？而且在影响半径 R 处必将出现流线“拉断”现象。

②如抽水前含水层存在天然径流，抽水的影响半径范围外，仍保持原有的天然径流，亦即上游的流入量与下游的流出量仍保持原有的均衡（流入量等于流出量）不变，那么中间多出的井的抽水量又是从何而来的呢？这时在影响半径 R 处也必将出现线的“拉断”现象。

（2）裘布依潜水井的微分方程为：

$$Q = 2\pi rh \cdot K \frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}r}$$

这里存在两个问题：

①圆柱面 $2\pi rh$ 为过水断面，通过过水断面的所有流线的水力坡度都等于 $\mathrm{d}h/\mathrm{d}r$，这是不符合实际情况的。从图 10－7 上可以看出，位于圆柱面上部的流线的水力坡度要大于圆柱面下部的流线的水力坡度。

②按照水力坡度的定义，应该是水头损失与渗透路程之比 $\mathrm{d}h/\mathrm{d}\rho$，而不是 $\mathrm{d}h/\mathrm{d}r$。这样所导致的误差，显然将随着井中水位降低的增大而急剧增大，甚至达到难以应用的程度。

（3）在裘布依井流公式中，流量与井径是呈对数关系，这与实际情况不完全相符。实际情况是：井径从小变大时，流量与井径的关系可从正比关系逐渐变为对数关系，以至小于对数关系。

泰斯公式主要是考虑了含水层的弹性释放以及水位降低与时间的关系，因而更加接近于降落漏斗发展过程的实际情况，避免裘布公式中存在的所谓影响半径及流线“拉断”的缺点。但是，泰斯公式也有其不足之处：

（1）泰斯公式是建立在弹性释放的理论基础之上的，没有考虑其它补给因素。由此推论，只要我们在一个井中进行长期抽水，即使是很小流量的抽水，为了保持这个流量，含水层就必须不断进行弹性释放，降落漏斗必然不断加深和扩大。如果时间足够长，含水层将会全部疏干。显然这只符合绝对封闭，没有天然径流，没有补给的“死”含水层的情况。这样的含水层，在自然界中是极少极少的，绝大多数含水层都具有不同程度的补给条件和存在着一定的天然径流。

（2）泰斯公式是在承压含水层的条件下导出来的，虽然曾经将它移用于潜水，或者在泰斯理论的基础上再考虑潜水的延迟给水，导出专门的潜水井公式。但都没有考虑潜水井周围存在的弧 5 形等压面及由此而产生的三维流问题，也和裘布依公式一样用 $\mathrm{d}h/\mathrm{d}r$ 代替 $\mathrm{d}h/\mathrm{d}\rho$，因此并没有真正解决潜水的问题。

（3）按照泰斯公式的定解条件，要求井径趋近于零。这对于一般的常用井径来说，虽然可以把它视为近似于零，但井径与流量毕竟存在着不容忽视的客观关系。泰斯公式却对此未加考虑，不能不说是一个严重缺陷。

综上所述，无论裘布依公式或泰斯公式都不是完美无缺的，更不是在任何条件下都能适用的，各有其长处和不足，各有其适用条件。有些问题例如潜水井周围的三维流问题以及流量与井径的关系问题等，两种公式都未能正确解决。以此两公式为基础而导出的其他许多公式也都是如此，也都各有其适用条件。因此，我们在评价和选用任何一个计算公式时，都应当考虑如下两点：

第一建立公式的假设条件与抽水井的实际水文地质条件是否相符或基本相符。

第二其计算精度能否基本满足工程建设的需要。

只要某一公式基本上符合上述两条，就应该认为是可用的。例如当井的水位明显地不断下降时，说明井的流量是以含水层的释放水量为主，这时我们可以用泰斯公式或其导出公式来计算，而不必过分强调其有无天然径流补给（指在计算参数时，不是指分析含水层的水文地质条件时）。又如当井的水位基本稳定时，说明含水层的释放水量已不占主导地位，至少是抽水井附近的含水层已主要是起导水作用，这时就可以用裘布依公式或其导出公式来计算，而不必过分指责其影响半径上的缺点。再如许多抽水井的水位一般都经历由非稳定到稳定的过程，我们可以先用泰斯公式计算其不稳定段的资料然后再用裘布依公式计算其稳定段的资料。将二者所得的导水系数进行互相对比，可借以发现和校正二者各自的缺点。

至于理论上更加严密，更能反映井流客观实际的计算公式，当然还有待于进一步研究。

三、流量与水位降低及井径的关系问题

抽水井流量与水位降低及井径的关系问题，是水文地质工作者几乎天天遇到而又一直未能获得满意解决的问题。

(一)流量与水位降低的关系

在裘布依井流公式中，流量与水位降低的关系，承压井是呈直线关系，潜水井呈抛物线关系。但在实际抽水试验时所得的流量与水位降低关系曲线，即 $Q=f(s)$ 曲线，以下简称 $Q(s)$曲线,多与裘布依公式中所表明的关系不完全相符。其原因为 控制 $Q(s)$ 曲线形状的基本因素，除了裘布依公式中所表明的关系外，还受以下因素所控制：

（1）裘布依公式是在达西定律的基础上导出来的，只适用于层流。当抽水井的流量增大，流速增快，在井周围的含水层中发生紊流时，渗流速度与水力坡度就偏离直线关系，裘布依公式所表达的流量是与水位降低的关系已不能符合实际。如以承压井为例，其流量与水位降低的关系应转变为如下形式：

$$s=s_{层}+s_{紊}=\frac{Q}{2\pi KM}\ln\frac{R}{r_1}+\left(\frac{Q}{2\pi KM}\right)^2\left(\frac{1}{r_0}-\frac{1}{r_1}\right)=aQ+bQ^2 \qquad (10-4)$$

式中 r_1——井周围紊流区视半径（m）。

式（10－4）表明：紊流水头损失是与流量的平方成正比，因而使 $Q(s)$ 曲线偏离直线关系而向 s 轴弯曲。式中系数 b 将随着紊流区视半径 r_1 的增大而增大，r_1 又随着 Q 的增大而增大。

（2）含水层中的水涌入井中并沿井管上升时，还将存在沿程水头损失 $s_{井}$。

据达西公式

$$s_{井}=\lambda\cdot\frac{l}{d}\cdot\frac{\upsilon^2}{2g}$$
$$=\lambda\cdot\frac{l}{2r_0}\cdot\frac{Q^2}{2g\ (\pi r_0{}^2)^2}$$
$$=\frac{\lambda}{4\pi^2r_0{}^5g}\cdot lQ^2 \qquad (10-5)$$
$$=ClQ^2$$

式中 l 为水流经井管长度（m），它随着水位降低的增大而减小； υ 为井管横断面平均流速（m/s）；g 为重力加速度（m/s^2）；λ 为沿程阻力系数。

据尼古拉兹公式

$$\lambda=\frac{1}{4\left(\lg\frac{3.7d}{\triangle}\right)^2} \qquad (10-6)$$

式中 d 为管的直径；△为粗糙高度。

式（10－5）表明：井管水头损失是和井管长度与流量的平方的乘积成正比，其最大值在水头降低到 K 约等于含水层水头的一半的地方。

抽水井的总的水头损失（水位降低）为

$$s=s_{层}+s_{紊}+s_{井}$$
$$=\frac{Q}{2\pi KM}\ln\frac{R}{r_1}+\left(\frac{Q}{2\pi KM}\right)^2\left(\frac{1}{r_0}-\frac{1}{r_1}\right)+\frac{\lambda}{4\pi^2r_0^5g}lQ^2$$
$$=aQ+bQ^2+clQ^2 \qquad (10-7)$$

式（10－7）为承压井的 Q（s）曲线方程。式中 a 为层流水头损失系数， b 为紊流水头损失系数，c 为井阻水头损失系数。其中系数 b 随着井径 r_0 的减小而呈直线增大；系数 c 则与井径的五次方成反比。故抽水井的井径越小时，其 Q（s）曲线越向 s 轴弯曲 。

（3）当含水层的补给条件很差，而抽水量又较大时，则井的流量将随着抽水时间的延长而不断减小，随着水位降低值由小至大，流量的增幅将越来越小，以至趋近于零，甚至小于零。

（4）当抽水井各次水位降低之间没经过水位恢复时，则水位降低顺序也能影响 Q（s）曲线的形状。尤其在水量较小、补给条件较差的含水层中更为显著。当水位降低顺序为上、中、下时，则 Q（s）曲线的形状一般表现为向 s 轴弯曲的曲线；如水位降低顺序为下、中、上时，则 Q（s）曲线可能呈向 Q 轴弯曲的反曲线形态；其他顺序则可能导致 Q（s）曲线呈 s 形态。显然，后两种曲线属于反常曲线，不宜应用。前一种曲线，虽然表现似乎“正常”，但对于反映含水层流量与水位降低的真实关系及计算含水层的渗透系数来说，也同样是不正确的。以改用非稳定流计算为宜。

以上是指进行稳定流抽水并进行了多次不同水位降低时的情形。至于非稳定流抽水，则由于一般只进行一次定流量抽水，并同时观测水位降低与时间的关系，因而掩盖或回避了流量与水位降低的关系。在所有的文献中，也照例不提及流量与水位降低的关系问题。是否非稳定流抽水就不存在流量与水位降低的关系呢？如果我们以不同流量对某井进行多次等时间的抽水，并在每两次抽水之间进行了完全的水位恢复，则随着各次抽水的 Q 不

同，其等时间的 s 值必然也不同，这些 Q 值与 s 值必将可以组成一条 $Q(s)$ 曲线。从泰斯井流公式来看，当抽水时间 t 相同时，不同 Q值与其相对应的 s值应呈直线关系。但要想真正从实践中得到这种曲线，则前述稳定流抽水时影响 $Q(s)$ 曲线形状的各项因素，在非稳定流抽水时亦同样存在，因而非稳定流抽水的流量与水位降低的关系也不是在所有的情况下都能保持直线关系，在许多情况下，应是向 s 轴作不同程度弯曲的曲线。不过，非稳定流抽水流量与水位降低关系远不如稳定流抽水的流量与水位降低关系那样引人注意和被人熟悉，因而也就没有人去研究它。

（二）井径问题

由式（10－7）可知，抽水井的水位降低值，不仅是水在含水层中运动时的水头损失，同时还包括水在井管中上升时的沿程水头损失。故大多数进行过不同降深的抽水试验所得出的渗透系数或导水系数值，总是随着水位降低的增大而减小。只不过当井的流量较小、井径相对较大井管中流速很小（例如不大于 0.1m/s）时，水在井管中的沿程损失很小，对渗透系数或导水系数的计算影响也很小时，尚可以略而不计。但当井的流量较大，井径相对较小，井管中流速较大时，井管中的沿程水头损失就会和井管长度与流量的平方的乘积成正比，与井径的 5次方成反比，而急剧增大，不仅不应略而不计，甚至还会在总的水位降低值中占据主要地位，含水层的水位降低值反而只占次要地位。在此基础上所计算出的含水层渗透系数或导水系数值必然会显著偏小，有时还会导致错误的结论。

因此，在设计抽水井的井径时，应根据所预计的抽水量用公式（10－5）大致估算一下井的沿程水头损失。如水头损失过大时，就应及时加大井径设计，使其中沿程水头损失在允许范围以内。

抽水试验后，如进行了多次不同的水位降低时，则还应该对一下每次水位降低所获得的渗透系数或导水系数值是否随着水位降低值的增大而减小，并分析其原因，如系井中沿程水头损失所致，就应选用其中水位降低较小，亦即流量较小时所获的渗透系数或透水系数值。因为此时的井中沿程水头损失较小，井中水位降低值较接近含水层的水位降低，所获的渗透系数或导水系数较接近含水层的实际，其值也较大。

有些矿床水文地质工作者不论井中沿程水头损失如何，一律认为抽水试验水位降低越大越好，其理由是：①水位降低越大就越接近矿井排水实际；②水位降低越大就越能将在钻进过程中被岩粉及泥浆堵塞的裂隙抽通，所获资料就越准确。

乍听起来，这两点理由似乎颇有道理，但稍加思索就会发现这两个理由都不完全正确。因为：

（1）矿井排水时，水位降低虽然很深，但它并无井管沿程水头损失，完全是含水层的水位降低。抽水试验则与此不同，在大多数情况下，抽水井水位降低都到不了含水层的底板，含水层中的水总要经过井管向上流动。水位降低越深，越接近于含水层总水头的一半时，井管中沿程水间损失就会越大，所获渗透系数或导水系数值就会人为地偏小。因此，在大多数情况下，抽水井的水位降低越大，其所获含水层渗透性能比矿井实见的含水层渗透性能偏小越多。尤其当流量较大、井径较小时，偏小更为显著。

（2）水位降低越大，固然越有利于抽通含水层裂隙及清洗井壁，但首先应当指出，清洗井壁及抽通裂隙应在正式抽水试验以前完成，才能保证抽水试验成果的正确性。不应将洗井工作与正式抽水试验合并在一起。况且清洗井壁和抽通裂隙的结果，并不能解释也不

能解决所获含水层的渗透系数或导水系数随水位降低值的增大而减小的现象。只要存在这种现象，水位降低越大，所获含水层的渗透系数或导水系数就越比实际偏小。

井中沿程水头损失虽然可以用公式（10－5）及式（10－6）大致估算，但其准确性是较差的。因为式（10－5）中的 λ 或式（10－6）中的△是难以准确确定的。因此，应合理设计抽水井的流量与井径，使井中沿程水头损失减小到可以略而不计。

还应当强调指出：上面所讲的是指当抽水试验所获渗透系数或导水系数随着水位降低值的增大而减小时应如何取值问题，并不是说抽水试验水位降低越浅越好。相反，在许多情况下，需要采取大降深、大流量抽水，才能暴露矛盾，发现和解决水文地质问题（例如发现和确定边界位置和性质等），但必须采用与之相适应的大井径，将沿程水头损失减小到允许范围以内。

四、洗井问题

抽水试验前洗井工作的好坏是决定抽水试验成果质量好坏的最关键的问题。只有真正洗好了井，才有可靠的抽水试验成果。否则就是一堆废纸；用了它还会造成很大的错误和损失。因此，这是一个千万不能忽视、丝毫马虎不得的重要问题。

钻井时，除了水头高于地表并在钻进时始终保持涌水状态的含水层外其他含水层或导水裂隙都将不断吸收冲洗液，直至终孔为止。大家都知道，钻井即使不用泥浆，用所谓“清水”冲洗，冲洗液中也总是含有大量的岩粉浑浊物的，当钻井通过泥质岩层时还能自造泥浆。这些岩粉和泥浆除了能在井壁上涂上一层厚薄不等的泥皮外，还能深入井壁以外形成一个从几米到十几米的堵塞圈。此堵塞圈的大小与堵塞程度，取决于：

（1）冲洗液的性质及粘度。泥浆愈浓，粘度愈高，则堵塞圈愈小，但堵塞程度愈高；反之，则堵塞圈愈大，但堵塞程度愈差。

（2）含水层水位的高低。水位愈高，则堵塞圈愈小，堵塞程度也愈低；反之，则堵塞圈愈大，堵塞程度也愈高。

（3）含水层的性质。含水层的孔隙、裂隙及溶洞愈大，则堵塞圈愈大，但堵塞程度愈差；反之，则堵塞圈愈小，但堵塞程度愈高。

（4）冲洗钻进时间的长短。冲洗钻进时间愈长则堵塞圈愈大，堵塞程度也愈高；反之，则愈小、愈差。

（5）地下水的坡度及流速。坡度及流速愈大，则上游堵塞范围愈小，堵塞程度也愈差；下游堵塞范围愈大，堵塞程度也愈高。

在钻井中，被堵塞的含水层的渗透性能大大减小，甚至完全失去透水性。从钻井冲洗液消耗量随深度变化曲线中即可清楚地证明这一点。当钻孔揭露某一含水层或导水裂隙时，冲洗液即大量漏失。当钻过一定距离后，冲洗液即停止漏失，说明此含水层或导水裂隙已被完全堵塞。等继续钻进揭露下一含水层或导水裂隙时，冲洗液才再次发生漏失，钻过一定距离后又再次停止漏失，说明此含水层或导水裂隙也被完全堵塞。漏失一停止漏失一再漏失一再停止漏失，这是钻井冲洗液消耗曲线的基本现象。与这现象相适应的基本规律就是含水层的被揭露一被堵塞一再揭露一再堵塞。这就是利用冲洗液消耗量曲线解释钻井所揭露的主要含水层的层位及层数的基本方法，也是冲洗液消耗量曲线的价值所在。

因此，抽水井在抽水试验前必须认真洗井，彻底清除（或基本清除）井壁及其周围含

水层中的堵塞物，以恢复（或基本恢复）含水层固有透水性，还其本来面目。

根据多年来的经验，最有效的洗井方法有以下几种：

(1) 压风机反复抽停洗井法。尽可能采用高压力、大风量的压风机，将混合器下到最大深度（视压风机最大压力而定）。开动压风机抽水，至水色稍清即关闭压风机停止抽水，10～15分钟后又重新开动压风机抽水，此时水色又大为浑浊，待水色稍清后又关闭压风机停抽。如此反复抽、停，直至重新开动压风机抽水时，水色仍保持澄清，不变浑浊为止。

(2) 活塞洗井法。根据井中水下套管内径，做一个带有能向上开启阀门（或球阀）的能抽水的活塞。利用钻杆（加重）及钻机升降机上的钢丝绳，下人井中做较大行程的反复强力拉洗。升降机迅速上拉活塞时，活塞以下的钻井中形成真空，将井壁及井壁周围含水层中的堵塞物强力吸出来。直至水色澄清时才停止拉洗。

(3) 液化二氧化碳（CO_2）洗井活动。根据钻井深度及井径将十数瓶液化CO_2用铁管并联起来，将铁管下入井的深部或中深部。同时打开阀门将这些液化CO_2同时压入井下，并迅速气化形成井喷，将井中大量泥沙及泥浆强力喷出井外，同时在井中形成瞬时真空将井壁及井壁周围含水层中的堵塞物强力吸入井内。然后用提抽泵将井底打捞干净，将水抽清。

(4) 化学剂洗井法。这类化学剂的种类虽较多，其原理都大同小异，都是利用化学方法破坏泥浆的粘结性及其对井壁岩石的吸附能力。将化学剂通过钻杆下人井中，并循环均匀。静闷24小时后，再用前述三种方法的任一种将井洗清。

这里还应当指出：直到目前为止，还不是所有的水文地质工作者和抽水井施工者都能充分重视抽水井的洗井工作，更不是所有的抽水井都按上述方法进行了认真洗井。实际情况是大多数抽水井都没有认真做好洗井。有些抽水井在抽水试验前，根本没有进行专门洗井，而是以试抽代替了洗井、把稠浓浑浊的水抽淡了（应该说还是半浑浊的水），就算洗好了井。有些则在试抽以前，用清水循环冲洗钻井，至水色稍清了，就算洗好了。不但没有起到洗井作用，而且还会把井壁上冲下来的泥皮进一步冲到含水层中去。因为在冲井时，井中水位始终高于含水层的水位，对含水层始终呈注水状态。还有的则虽然按前述几种洗井方法的某一种洗了井，但工作质量差，没有认真洗好，只是在形式上走了一个“过场”。

检查抽水井是否洗好了的最简易办法是：在停泵以后又重新开泵时，水色是否仍然保持澄清不出现浑浊。如果出现浑浊，说明井没有洗好，必须重新洗井。直至重新开泵时不出现浑浊，才可正式开始抽水试验，否则难以保证抽水试验成果的真实性。

第三节　流量测井法简介

在前节中已经提到，在抽水试验的同时进行流量测井，是目前确定含水层层位、度、层数及分层渗透性能的最有效的方法。鉴于目前熟悉这种方法的人还不很广泛，现将其原理和方法作一简要介绍。

一、多含水层混合井流理论基础

我国的流量测井法是在多含水层混合井流理论基础之上建立起来的。因此，在介绍流量测井法以前，须首先简要介绍一下多含水层混合井流理论。

（一）多含水层混合井流动力学特征

当一个水井（或钻孔）揭露多个含水层时，不论各含水层的静止水位是否相同，不论其导水性和贮水性的大小，含水层均一或不均一，也不论各含水层的水力以及井的完整及完善程度如何，井中都会出现一个混合水位。凡是静止水位高于混合水位的含水层，都必将向井中涌水；凡是静止水位低于混合水位的含水层，都必将从井中吸水。各含水层涌水量或吸水量的大小，取决于各含水层的静止水位与混合水位的差及其导水系数的大小。

在没有抽水、注水等干扰的情况下，当各高水位含水层的涌水量总和小于各低水位含水层的吸水量总和时，井中的混合水位必然下降。同时，涌水量将逐渐增加，吸水量则逐渐减少，使混合水位的下降速度逐渐减小。反之，当各高水位含水层的涌水量总和大于各低水位含水层的吸水量总和时，则混合水位必然上升。同时，涌水量将逐渐减少，吸水量则逐渐增加，使混合水位的上升速度逐渐减小。

当各高水位含水层的涌水量总和等于各低水位含水层的吸水量总和时，亦即各含水层流量的代数和（设涌水量为正值，吸水量为负值）等于零时，则混合水位保持静止。此时的混合水位称为混合静止水位。混合静止水位必然介于水头最高的含水层的静止水位与水头最低的含水层的静止水位之间（图 10-8），而且满足如下方程。

$$\Sigma Q_{涌} - \Sigma Q_{吸} = 0 \qquad (10-8)$$

或

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = 0$$

当从井中抽水时，混合水位必然下降（图 10-9）。高水位含水层的涌水量将会增加，低水位含水层的吸水量将会减少。此时，井的抽水量必然等于高水位含水层的涌水量总和与低水位含水层的吸水量总和之差。即

$$Q_{抽} = \Sigma Q_{涌} - \Sigma Q_{吸}$$

当混合动水位降至某一低水位含水层的静止水位时，则此含水层停止吸水，其流量等于零。当混合水位继续下降时，则此含水层将由吸水转变为涌水。

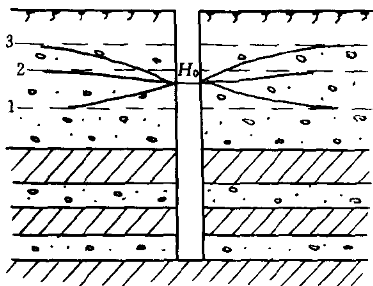


图 10-8　混合水位静止时各含水层流量代数和为零

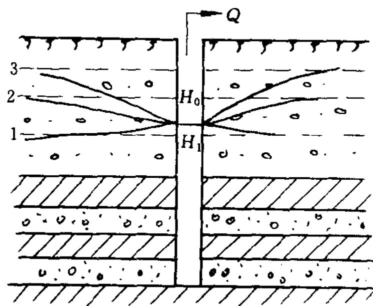


图 10-9　抽水时井中混合水位变化情况

当混合水位继续下降至所有含水层的静止水位以下时，则所有低水位含水层都陆续由吸水转变为涌水。此时，井的抽水量等于所有含水层有涌水量之和。即

$$Q_{抽} = \sum_{i=1}^{n} Q_{涌}$$

混合抽水时，凡是静止水位高于混合静止水位的含水层，其水位降低值 s_i 都等于混合水位降低值 $s_{混}$ 加上该含水层的静止水位与混合静止水位之差 $\triangle H_i$。凡是静止水位低于混合静止水位的含水层，其水位降低值 s_i 都等于混合水位降低值 $s_{混}$ 减去混合静止水位与该含水层的静止水位之差 ΔH_i 即：

$$s_i = s_{混} \pm \Delta H_i \qquad (10-9)$$

向井中注水时，（图 10－10），虽然情况恰好与抽水时相反，但变化的规律却完全相同。因此就不再细述了。

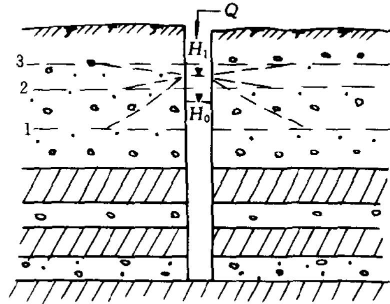


图10－10　注水时井中混合水位变化情况

从以上讨论，可得出如下几条极为重要的结论：

(1) 多含水层混合抽水（或混合注水）时，井的流量等于各含水层流量的代数和。

(2）其中任一含水层的流量等于井的流量与其它各含水层流量的代数和之差。

(3) 当混合水位等于某含水层的静止水位时，则该含水层的流量等于零。

(4) 当混合水位静止时，各含水层流量的代数和等于零。

(5) 任一含水层的水位降低（或升高）值等于混合水位降低（或升高）值加上或减去此含水层静止水位与混合静止水位之差。

上述结论，无论各含水层中的地下水呈稳定运动还是非稳定运动，都是正确的。

（二）多含水层混合抽水时流量与水位降低的关系曲线

多含水层混合抽水也和单层抽水一样，井的流量与混合水位降低存在着一定的关系，同样可以绘出流量与水位降低的关系曲线［以下简称 Q（s）曲线］。混合抽水的 Q（s）曲线之间，也存在着密切的水动力学关系。这种关系，无论对稳定流抽水还是对非稳定流抽水来说，都是存在的。只不过非稳定流抽水的流量与水位降低的关系还与抽水的延续时间有关，其 Q（s）曲线不便于绘制而已。

为了讨论问题的方便，下面仅就稳定流抽水为例，来研究一下混合 Q（s）曲线与各含水层 Q（s）曲线的关系：

如果我们以不同流量对多含水层混合井进行稳定流抽水试验，则井中混合水位必将相应地出现不同的水位降低值，从而可以绘出其混合 Q（s）曲线。与此同时，所揭露的每一含水层也都可以相应地绘出各自的 Q（s）曲线。如果我们把混合 Q（s）曲线与各含水的 Q（s）曲线按水位高程绘在一张图上（图 10－11),（或称之为"综合 Q（s）曲线图"），此时，我们可以看出这些曲线之间存在如下关系：

(1) 在任一水位高程线上，混合 Q（s）曲线的 Q 值等于各含水层 Q（s）曲线 Q 值的代数和。

(2) 在混合静止水位线上，各含水层 Q 值的代数和等于零。

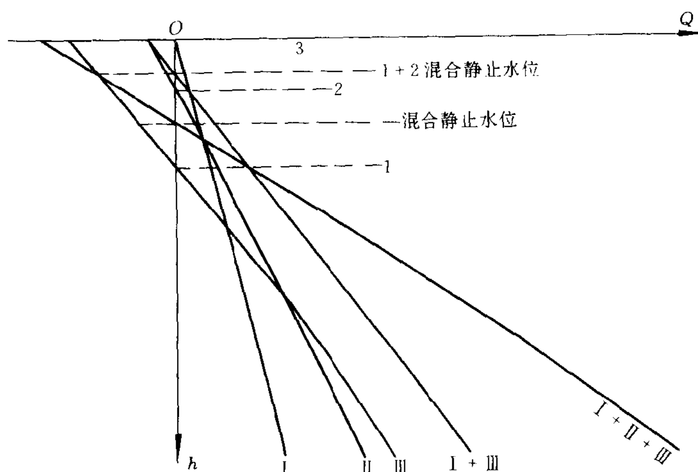


图 10-11 综合 $Q(s)$曲线图

(3) 在混合静止水位以下，各含水层 $Q(s)$ 曲线的代数和恒为正值，并等于井的抽水量；在混合静止水位以上则恒为负值，并等于井的注水量。

(4) 混合 $Q(s)$ 曲线与任何含水层的 $Q(s)$ 曲线有一个而且只能有一个交点。此交点的水位高程必等于除该含水层以外的其余各含水层的混合静止水位的高程。

(5) 全井混合 $Q(s)$ 曲线与除掉任一含水层之外的其余各含水层的混合 $Q(s)$ 曲线，也必有一个而且只能有一个交点。此交点的水位高程必等于含水层的静止水位高程。此两条混合 $Q(s)$曲线的 Q 值之差必等于含水层 i 的流量。在交点以下，其流量为正值（涌水），以上则为负值（吸水）。

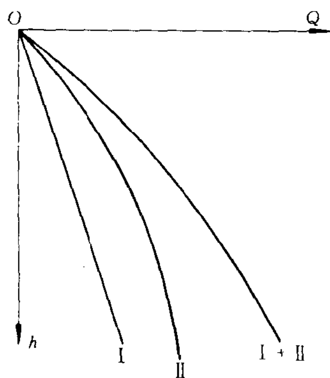


图10-12 各含水层静止水位相同时，各$Q(s)$曲线相交于一点

(6) 当各含水层的静止水位相同时，所有含水层的 $Q(s)$ 曲线及混合 $Q(s)$ 曲线均相交于一点，此点的水位高程即为这些含水层共同的静止水位（图10-12）。

根据以上讨论，从图 10-11 可知，只要我们已知某一含水层单独抽水的 $Q(s)$ 曲线Ⅰ，及此含水层与另一含水层混合抽水的 $Q(s)$ 曲线Ⅰ+Ⅱ，我们就可以根据Ⅰ及Ⅰ+Ⅱ两条曲线上各相同高程点的流量之差，很容易地绘出第二个含水层单独抽水的 $Q(s)$ 曲线Ⅱ来。同理，只要我们已知 1、2 两个含水层混合抽水的 $Q(s)$ 曲线Ⅰ+Ⅱ及 1、2、3 三个含水层混合抽水的 $Q(s)$ 曲线Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ，我们就可以根据Ⅰ+Ⅱ及Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ两条曲线上各相同高程点上的流量之差，绘出第三个含水层单独抽水的 $Q(s)$ 曲线Ⅲ来。照此类推，我们可以依次得出任何数量含水层混合抽水时任一含水层单独抽水的 $Q(s)$ 曲线来。这种方法，我们称之为综合 $Q(s)$ 曲线图解法。

（三）井中纵向水流及其变化规律

1. 井中纵向水流

沿井轴方向向上或向下运动的井中水流，称为井中纵向水流。在抽水井、注水井及自溢井中，不论其所揭露的含水层层数的多少，各含水层的水位是否相同，都存在着纵向水流。当井所揭露的各含水层的水位不同，而又没有进行分层隔离止水时，即使不进行抽、注水，也将由于各含水层间的水力平衡作用而产生纵向水流。总之，纵向水流在一般水井或钻孔中是相当普遍地存在的。

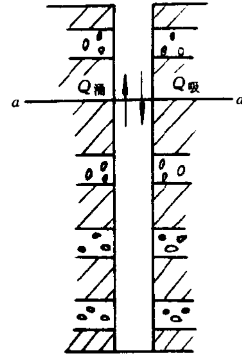


图10－13 井中有纵向水流时，任一横截面的水流情况

井中纵向水流的流量其在井中不同深度上的变化，与所揭露的各含水层和隔水层的层位、层数、厚度以及各含水层的流量、水力状态（涌水或吸水）、渗透性能及其非均匀性等都有密切的关系。

在井内任一深度上取一垂直于井轴的横截面 a（图10－13），通过此横截面 a 的纵向水流可能有以下几种情况：横截面 a 以下的所有含水层（$1-n$）均呈涌水状态时，涌出的水都将通过截面 a 向上流。因而相当于对截面 a 以下的各含水层进行混合抽水。即

$$Q_a = Q_{1涌} + Q_{2涌} + \cdots\cdots Q_{n涌}$$
$$= \sum_{i=1}^{n} Q_{涌}$$

当截面 a 以下的所有含水层（$1-n$）均呈吸水状态时，则这些含水层的吸水量都将通过截面 a 向下流，相当于对截面 a 以下的各含水层进行混合注水。即

$$Q_a = Q_{1吸} + Q_{2吸} + \cdots\cdots + Q_{n吸}$$
$$= \sum_{i=1}^{n} Q_{i吸}$$

当截面 a 以下的含水层一部分呈涌水状态，另一部分呈吸水状态，且涌水量的总和大于吸水量的总和时，则涌水量减去吸水量后的剩余部分将通过截面 a 向上流，相当于对截面 a 以下的各含水层进行混合抽水，但混合动水位尚未降低到所有含水层的静止水位以下时的情形，即

$$Q_a = \Sigma Q_{涌} - \Sigma Q_{吸}$$

如果截面 a 以下涌水量的总和小于吸水量的总和时，则有与两者差额相当的水量通过截面 a 向下流。此时，相当于对截面 a 以下的各含水层进行混合注水，但混合动水位尚未抬高到所有含水层的静止水位以上时的情形。即

$$Q_a = \Sigma Q_{吸} - \Sigma Q_{涌}$$

如果截面 a 以下涌水量的总和等于吸水量的总和，亦即井中水位等于截面 a 以下各含水层的混合静止水位时，则没有纵向水流通过截面 a。即

$$Q_a = \Sigma Q_{涌} - \Sigma Q_{吸} = 0$$

当截面 a 以下只有一个含水层时，则其涌水量或吸水量都将通过截面 a 向上或向下流。即

$$Q_a = Q_i$$

当截面 a 以下没有含水层，或者虽有一个含水层，但其静止水位等于井中混合水位，因而既不涌水也不吸水时，也没有纵向水流通过截面 a。即

$$Q_a = 0$$

设涌水量为正值，吸水量为负值，则以上所有情况可综合表示如下：

$$Q_a = Q_1 + Q_2 + \cdots\cdots + Q_n$$
$$= \sum_{i=1}^{n} Q_i$$

因此，可得如下结论：

(1) 通过井的任一横截面 a 的纵向水流，等于此截面 a 以下所有含水层流量的代数和。

(2) 进一步推论，可知通过井的任两个横截面 a 及 b 的纵向水流流量之差，必等于两截面之间所有含水层流量的代数和。

(3) 如两个横截面之间只有一个含水层时，则通过此两横截面 a 及 b 的纵向水流流量之差，必等于该含水层的流量。即

$$Q_b - Q_a = Q_i$$

如水流方向是从 a 流向 b（设 a 在下，b 在上），则 Q_i 为正值时，i 为涌水层；Q_i 为负值时，i 为吸水层。

(4) 在同一含水层中，通过井的任两横截面的纵向水流流量之差，等于此两截面间那部分含水层的流量。

(5) 同一隔水层内，通过井的任两横截面的纵向水流流量之差等于零。

2. $Q = f(h)$ 曲线

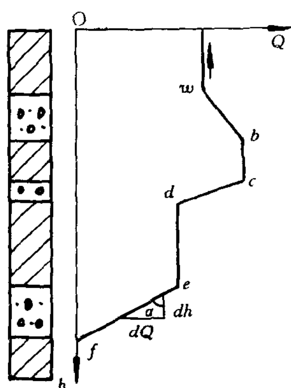


图 10-14 Q（h）曲线

如以井的深度 h 为纵坐标（设向下为正），以通过井的不同深度的横截面的纵向水流流量 Q 为横坐标（设向上流为正，向下流为负），作流量与井深的关系曲线 $Q = f(h)$ [以下简称 $Q(h)$ 曲线]（图 10-14）。此曲线除了各点均符合上述结论外，还具有下列重要性质：

(1) Q（h）曲线上每一点的切线斜率 $m = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}h}$，与其所对应的含水层的水动力状态之间具有如下关系：

①斜率为负值的线段所对应的岩层必为涌水层。如图 10-14 中的 cd、ef 线段。

②斜率为正值的线段所对应的岩层必为吸水层。如图 10-14 中所示的线段。

③斜率等于零的线段所对应的岩层必为隔水层（如图 10-14 中 bc、de 线段）或为水位恰好等于井中动水位的含水层。但当井中动水位改变时，前者仍保持 $m = 0$ 不变，而后者则变为 $m \neq 0$。

④斜率小于零的线段与斜率大于零的线段之间必连接以斜率等于零的线段。亦即涌水层与吸水层之间必介以隔水层。

(2) $m \neq 0$ 的线段的上、下两端点 a 及 b 的纵坐标等于所对应的含水层的顶、底板深

度；该两点的纵坐标之差等于该含水层的厚度。横坐标之差等于该含水层的流量。即

$$h_a \quad h_b = M_i$$

$$Q_b - Q_a = Q_i$$

(3）当井中纵向水流流速不很大，井中管流损失可以略而不计时， Q（h）曲线上每一点的切线斜率与其所对应的含水层的渗透性能，存在如下关系：

①在同一含水层中，曲线上每一点的切线斜率的绝对值$|m|$与其所对应的含水层那一微小厚度 $\mathrm{d}h$ 的渗透系数 K 成正比。即

$$|m| = c \cdot K \tag{10-10}$$

式中 c 为比例常数。

证明如下：

对于稳定流，由达西定律可知：

$$|\mathrm{d}Q| = -2\pi r \mathrm{d}hK \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}r}$$

$$\left|\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}h}\right| = 2\pi rK \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}r}$$

$$|m| = -2\pi rK \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}r}$$

$$|m| \frac{\mathrm{d}r}{r} = -2\pi K \mathrm{d}s$$

$$|m| \int_r^R \frac{\mathrm{d}r}{r} = 2\pi Ks$$

$$|m| \ln \frac{R}{\gamma} + 2\pi Ks$$

$$|m| = \frac{2\pi s}{\ln \frac{R}{r}} \cdot K$$

对于同一含水层，水位降深 s，井的半径 r、影响半径 R 均可视为相等。故可令

$$\frac{2\pi s}{\ln \frac{R}{r}} = c$$

得

$$|m| = c \cdot K$$

对于非稳定流，由泰斯公式可知

$$s = \frac{|\mathrm{d}Q|}{4\pi K \mathrm{d}h} W(u)$$

$$\left|\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}h}\right| = \frac{4\pi Ks}{W(u)}$$

$$|m| = \frac{4\pi s}{W(u)} \cdot K$$

对于同一含水层，$\frac{4\pi s}{W(u)}$可视为相等。可令其等于 c，即得

$$|m| = c \cdot K$$

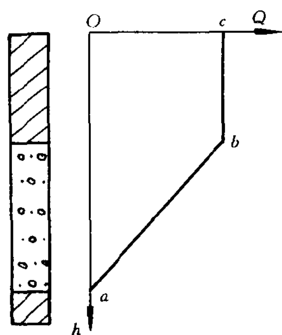


图10－15　均质含水层中的Q（h）曲线

②在同一含水层中，当 K 为一常数时，则 m 亦可视为一常数，即在均质含水层中 Q（h）曲线为一斜率不等于零的直线。如图 10－15 中的 ab 线段。

③当 K 为连续变数时，m 亦为一连续变数。即在渗透系数逐渐变化的含水层中，Q（h）曲线为一斜率连续变化的曲线。如图 10－16 中的 de 线段。

④当 K 为一非连续变数时，则 m 亦为一非连续变数。即在具层状结构的非均质含水层中，Q（h）曲线为一折线。如图 10－17 中的 $ghij$ 线段。

（4）Q（h）曲线总的形态与井的小动力状态之间存在如下关系：

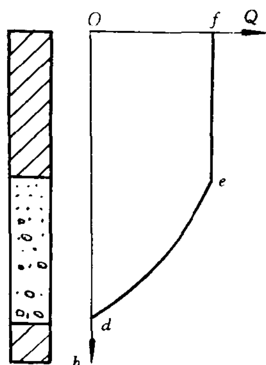


图 10－16　渗透系数渐变时含水层的 Q（h）曲线

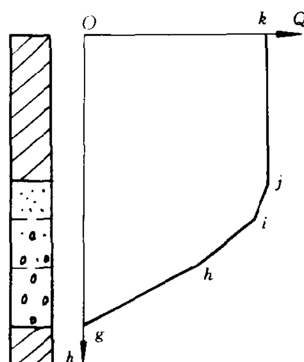


图10－17　层状非均质含水层的 Q（h）曲线

①当混合抽水（或自然涌水）的动水位降低到所有含水层的静止水位以下时，或当混合注水的动水位升高到所有含水层的静水位以上时，Q（h）曲线必与 h 轴构成向上开口的张开型曲线。前者为正向张开型，后者为负向张开型（图 10－18、图 10－19）。

②如既有涌水状态的含水层，又有吸水状态的含水层，且各涌水层涌水量的总和等于各吸水层水吸水量的总和时，Q(h)曲线必与 h 轴构成一封闭型曲线。下层补给上层（下涌上吸)时为正向封闭型；上层补给下层(上涌下吸)时为负向封闭型(图 10－20、图 10－21)。

③当上部为涌水层，下部为吸水层，且涌水量大于吸水量时，则 Q（h）曲线必与 h 轴构成下部为负向封闭、上部为正向张开型曲线（图 10－22）；如下部为涌水层、上部为吸水层，且吸水量大于涌水量时，则下部为正向封闭、上部为负向张开型曲线（图 10－23)。此型曲线与 h 轴的交点，称为分水点，在此点以上和此点以下，纵向水流方向相反，交点的益随着井中涌水量和吸水量关系的变化而上下移动。

④当上部为吸水层，下部为涌水层，且涌水量大于吸水量时，则 Q（h）曲线为正向半封闭型曲线（图 10－24）；当下部为吸水层而上部为涌水层，且吸水量大于涌水量时，则为负向半封闭型曲线（图 10－25)。

（5）Q（h） 曲线与 Q（s）曲线的相互关系

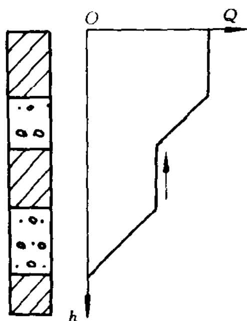


图 10－18　正向张开型 $Q(h)$ 曲线

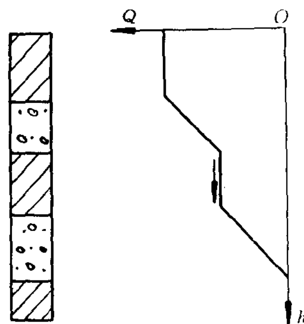


图 10－19　负向张开型 $Q(h)$ 曲线

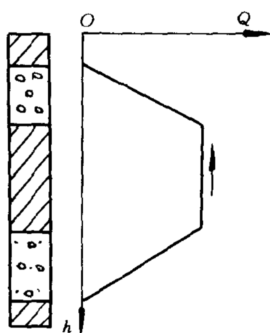


图 10－20　正向封闭型 $Q(h)$ 曲线

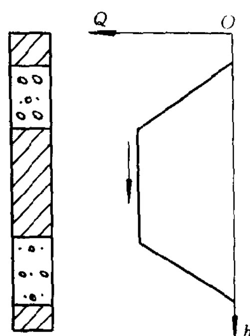


图 10－21　负向封闭型 $Q(h)$ 曲线

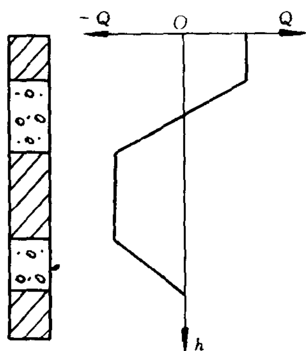


图 10－22　下部负向封闭上部正向张开型 $Q(h)$ 曲线

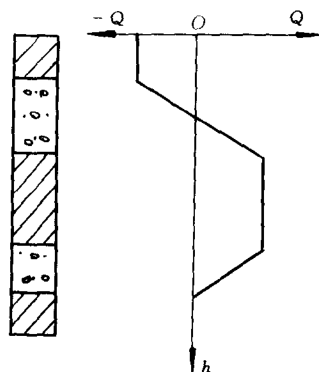


图 10－23　下部正向封闭上部负向张开型 $Q(h)$ 曲线

混合抽水如果进行了几次水位降低，每次降低都有一条 $Q(h)$ 曲线，每一个含水层的顶板及底板在每条 $Q(h)$ 曲线上都有一个对应的流量值。这些不同的流量值与水位降低值所构成的 $Q(s)$ 曲线，必等于对各该深度以下的含水层、段进行混合抽水或单独抽水（最下一个含水层）的 $Q(s)$ 曲线。用图 10－26 所示的方法，可直接绘出各不同数量含水层混合抽水的综合 $Q(s)$ 曲线。然后用图解法依次得出每一含水层单独抽水的 $Q(s)$曲线(如图 10－26 中的曲线 Ⅱ)。

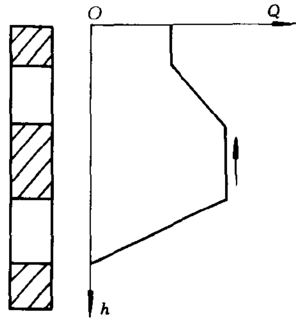


图 10－24　正向半封闭型 $Q(h)$ 曲线

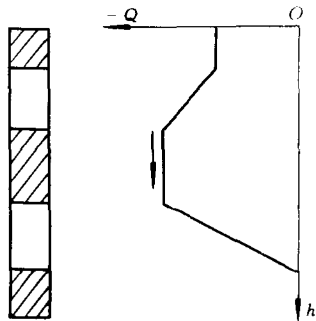


图 10－25　负向半封闭型 $Q(h)$曲线

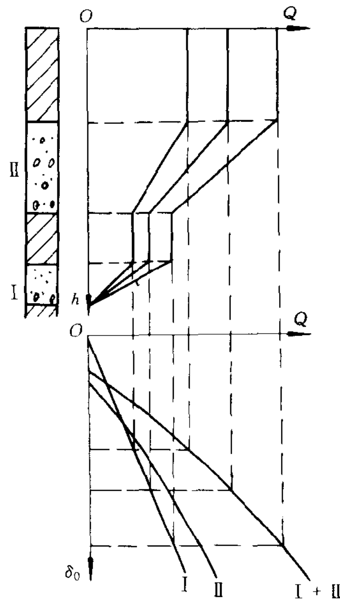


图 10－26　$Q(h)$与 $Q(s)$ 曲线的相互关系

在综合 $Q(s)$ 曲线图中，s 轴是采用的各含水层的动力水位深度值 s_0，不是各含水层的水位降深值 s。这种流量与动水位深度的关系曲线，我们称之为 $Q(s_0)$ 曲线。它们与各自的 $Q(s)$ 曲线的差别，仅在于前者是以动水位深度为纵坐标，后者是以水位降低值为纵坐标，二者相差一个常量——静止水位至井口的深度 s_0-s 而已。

从以上讨论可知，只要我们能找到一种能测定井中纵向水流流量的办法，就不难利用存在纵向水流的井（如抽水、注水、自然涌水、含水层间相互补给等）划分含水层与隔水层、测定其层位、厚度、流量、并计算其导水系数、贮水系数及其非均匀性。这就是流量测井法的理论基础。

二、流量测井仪及施测方法

(一)流量测井仪

流量测井仪是一种测定钻孔中各不同深度的横切面上纵向水流流量的仪器。从 1960

年我国第一台流量测井仪（当时称为“钻孔流速仪”）问世以来，几经改进，日趋完善。先期的流量测井仪，结构比较简单，只能用之于点测，到 1974 年已可用之于连续测量，并获得了比较成功的资料。1979 年煤炭部地质局物探公司所制造的 MDS－1 型流量测井仪除了可以用于点测和连续测量之外，还可同时进行井径测量。既能消除井径与流速分别测量时所产生的深度误差，以提高解积精度，又有可能在施测过程中及时获得钻孔中各深度的流量变化概念，资料更加直观，易于现场分析，加强施测效果。目前国内外的流量测井仪的种类颇多，但除了我国及美国等少数国家拥有连续式流量测井仪以外，大多数都只能用于点测。

现有的各类流量测井仪大都由①井下探测器、②地面记录仪及③电缆与绞车组成（图 10－27）。

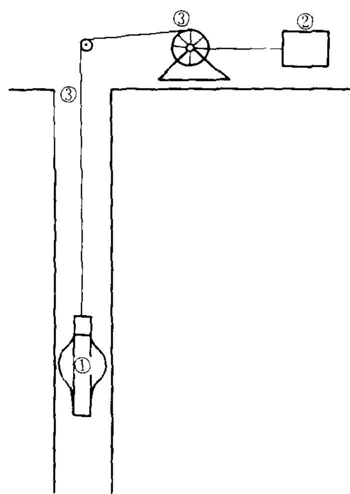


图 10－27　流量测井仪

井下探测器主要由讯号发生器、保护装置（外壳）及定位装置组成。

目前，流量测井仪仍多采用叶轮轴旋转来产生讯号。其他如用热敏、电磁、速度水头、中子示踪等产生讯号的方法，在流量测井仪中也都被研究和应用过，且各有其优点。但总的说来，其性能都不如用旋转叶轮产生的讯号稳定可靠和应用范围较广。

旋转叶轮虽然也存在轴摩擦阻力、转动惯性等缺点，但可以通过加工工艺使摩擦阻力减到最低限度，水的阻尼也可以基本克服叶轮惯性，因而仍能获得较满意的效果。

至于使叶轮产生讯号的具体方式，最常用的有磁簧式及光电式两种：

磁簧式讯号发生器是在叶轮上装有磁铁，在框架上装有磁簧管，叶轮每转动一周或 1/2 周，则磁铁与磁簧管接近一次或两次，磁簧管相应通、断一次或两次而产生讯号。此种讯号较强，又比较稳定。但在施测时，磁铁常吸附大量铁粉，影响叶轮转动；磁铁与磁簧管间的吸引力也会影响叶轮旋转的灵敏度，尤其当水流与叶轮移动相对速度较低时更为明显。

光电式讯号发生器是在叶轮框架的相对两侧分别装有光电管和光源灯泡，叶轮每转动 1/2 周时，光电管被照射一次而产生讯号一次。此种讯号可靠，而且不增加任何阻力，同时还可以检查和了解钻孔的清洗情况。是一种较好的讯号发生装置。

讯号发生器一般是固定在能上下过水的圆形钢管（外壳）中。为了使探测器在施测时始终处于井的轴线上，在钢管外面装有 3～4 条能随井径变化而自由胀大与缩小的弹片，称为“定位装置”或“定中装置”。中国煤田地质局的 MDS－1 型流量测井仪还利用它来测量井径，巧妙地将流量测井仪与井径仪结合起来，在测量纵向水流流速的同时还能直接测得各相应深度的井径资料，为流量定量解释提供了很大的方便和有利条件。

地面记录仪有数字记录仪和曲线记录仪两种，一般数字记录仪多用于点测，曲线记录仪则用于连续测量。MDS－1 型记录仪兼备数字记录与曲线记录两种功能。

连接井下探测器与地面记录仪的为电缆和绞车。为了有利于连续测量成果的定量解

释，施测时应尽量使电缆移动速度保持常数。因此，连续测量式流量测井仪常配备恒速绞车。

另外，还有一种全流量测井仪（或称“堵水式流量测井仪”）。即在井下探测器的外围装有一由电磁泵控制的胶囊，当井下探测器置于需要测量的位置后，即开启电磁泵向胶囊内充水，使胶囊胀大，将探测器与井壁间的间隙完全堵住，令水流全部由探测器内部通过，从而直接得出该深度上的流量数值，不需利用井径进行换算。同时，由于全部水流都集中由探测器内通过，流速增高，对叶轮旋转的推力较大，即使井中水流很微弱，也能使叶轮旋转产生讯号，故灵敏度较高。但它也有其严重缺点：首先，它在钻孔中使过水断面突然变小，造成水头损失过大，致使水头降低值严重偏大，影响含水层参数计算及水文地质评价的真实性。其次，全流量测井只能点测，不能连续测量，资料质量较差，尤其当钻孔深度较大，含水层层数较多时，更是费时费力还得不到高质量的成果。其三，全流量测井只能在井壁完整之处进行。在井壁比较破碎、裂隙比较发育或形状很不规整之处，就不易取准流量资料。

（二）施测方法

前面已经说过，流量测井是测量钻井中的纵向水流流量。因此，流量测井必须在有纵向水流的钻井（如抽水井、注水井、自溢井或揭穿两个以上不同水位的含水层的井）中进行。

为了使流量测井的成果能真实地反映钻孔中各含水层的自然渗透性能，钻孔在进行正式抽（注）水和流量测井以前，必须采用多种有效方法（如活塞洗井法、反复抽停洗井法、液化 CO_2 洗井法、化学剂洗井法等）对井壁反复清洗，直至水色澄清，重新开泵时也无浑浊现象时为止。必须牢记，只有彻底清除了钻进时岩粉或泥浆对井壁堵塞作用的影响，才能保证抽（注）水试验和流量测井成果的正确性，切忽掉以轻心。

钻孔结构和抽（注）水设备的规格、下人深度和装配方式，必须保证井下探测器（探头）的上下方便。对井壁不安全孔段，必须用筛管护壁，筛管内壁必须光滑无阻。流量测井时如发现孔内有坍塌、掉块、缩径、堵塞等现象，必须及时处理。

施测方法有点测及连续测量两种：

(1) 点测方法是在施测孔段上选择若干测点，分别将井下探测器静置在这些测点上，观测叶轮的转速。根据这些点的观测资料，可以速成转速随深度变化曲线 $n = f(h)$。

点测法的优点是施测方法和仪器设备都很简单，便于广泛应用。因此，目前国内外多应用此法。缺点是施测速度太慢、费时太多，只适用于揭露含水层层数不多的浅孔；而且由于所获资料不连续，因而其成果质量较之连续测量成果尚有逊色。

(2) 连续测量方法是以常速（或接近常速）提升或下放井下探测器连续进行测量。直接得到的是转速幅值随深度的变化曲线 $L = f(h)$。MDS－1 型流量测井仪还可同时测得井径随深度变化曲线 $\phi = f(h)$。

$L = f(h)$ 曲线上任一点的幅度值为叶轮转速幅值，是由该深度的纵向水流速度与探头移动速度（即缆速）决定的，是水速幅值与缆速幅值的代数和。即

$$L = L \pm L_{缆}$$

当探头移动方向与水流方向相反时，L 值为二者之和；当探头移动方向与水流方向一致时，则 L 值为二者之差。

为了便于资料整理及计算，施测时缆速应保持常数，各条曲线的缆速及纵横比例都应彼此一致。缆速还不宜过大，过大则 L 值中水速幅值 $L_{水}$ 所占的比例小，不利于突出水速幅值的变化，不利于对含水层顶、底界面的精确划定。

稳定流抽（注）水时，在抽（注）水前井中水位静止时以及每次水位降低（或抬高）稳定以后，都必须测定两条（升、降电缆各一条）以上完整的、连续的 $L=f(h)$ 曲线及井径曲线 $\phi=f(h)$。

对于非稳定抽水，则须在抽水前井中水位静止时测定两条以上相隔一定时间的 $L=f(h)$ 曲线。这些曲线的电缆移动方向和速度应彼此相同，以便观测出不同时间内各含水层之间的相互补给水量变化。在抽水试验开始后，立即测定一条 $L=f(h)$ 曲线，以后每隔一定时间，测定一条 $L=f(h)$ 曲线。

无论稳定流或非稳定流抽水，所测曲线都应进行重复性检查。如发现重复性不好，必须查明原因，解决后予以重测。

如曲线上出现断记、回零、畸变、漏电、周期性异常反映等现象时，也必须立即在现场查明原因和补测。否则不能作为正式资料使用。每条曲线测完后，必须在现场进行初步解释，研究、发现和解决问题。必要时进行重测，把问题消灭在现场。

（三）资料整理

不论点测或连续测量，所有 $n=f(h)$ 曲线或 $L=f(h)$ 曲线，都必须转换为流量随深度变化曲线 $Q=f(h)$ [以下简称 $Q(h)$ 曲线]。目前国内外的转换方法有两种：一是由转速 n 或幅值 L 通过标定先转换为流速 V，然后用流速 V 乘以对应的过水断面面积，得到流量 Q；一是通过实际标定转速（或幅值）、井径、流量三者间的关系，由转速 n 或幅值 L 直接得到 Q。前一种方法要求测得过水断面上的平均流速，但是过水断面上平均流速点 位置都随井径及流量的大小而变化，是难以确定的。叶轮所测得的流速并不是过水断面上的平均流速，而它与平均流速之间不存在可以换算的固定关系。用它乘过水断面面积所得出的流量，不仅误差太大，而且还不是系统性误差，实难以应用。后一种方法是以实际标定为基础，数据可靠，精度较高。我国煤炭部门一直采用此法。

图 10－28 及图 10－29 分别为点测式及连续测量的标定图版示意图。从图中我们可知：

(1) 每一种井径 ϕ 的流量 Q 与转速 n（或幅值 L）的关系均为直线。

(2) 在点测图版中，这些直线在 Q 轴上均有截距 Q_0，井径越大，Q_0 值亦越大。此 Q_0 值即为叶轮在各该井径条件下的起动流量值。

(3) 在连续测量图版中，这些直线在 Q 轴上没有截距，而是在 L 轴上相交于一点，此点的 L 值即为电缆速度幅值 $L_{缆}$。说明连续测量时由于有 $L_{缆}$ 的存在，没有启动流量。故连续测量的灵敏度在同样条件下要比点测为高。

(4) 在图版中，只要我们已知井径 ϕ、流量 Q 及转速 n（或幅值 L）三个参数中的任何两个，就可以从图中很容易地查得第三个的具体数值来。

有了标定图版，就可以根据 $L=f(h)$ 曲线上每一点的 L 值 [或 $n=f(h)$ 曲线上每一点的 n 值] 及 $\phi=f(h)$ 曲线相应深度上的 ϕ 值，在标定图板上查出每一点的 Q 值来。这样就很容易地和真实地将 $L=f(h)$ [或 $n=f(h)$] 曲线转换为 $Q(h)$ 曲线（图 10－30）。但必须注意以下两点：

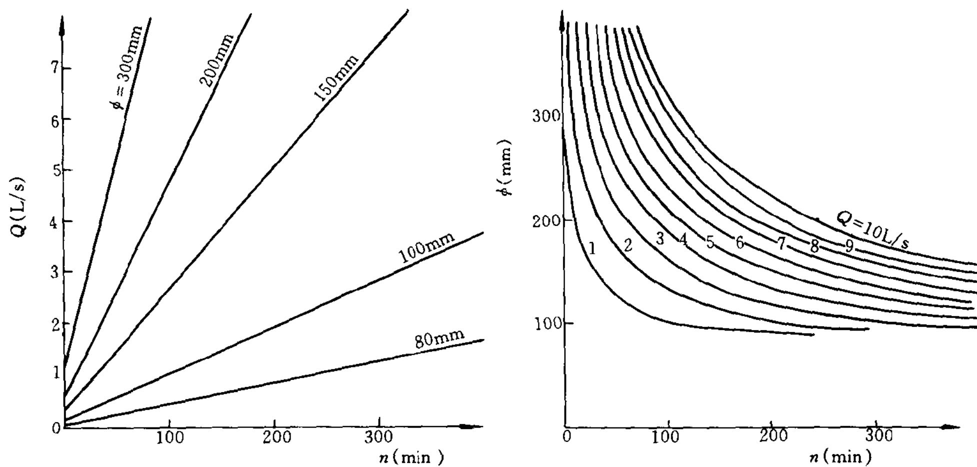


图 10－28　点测式流量标定图版

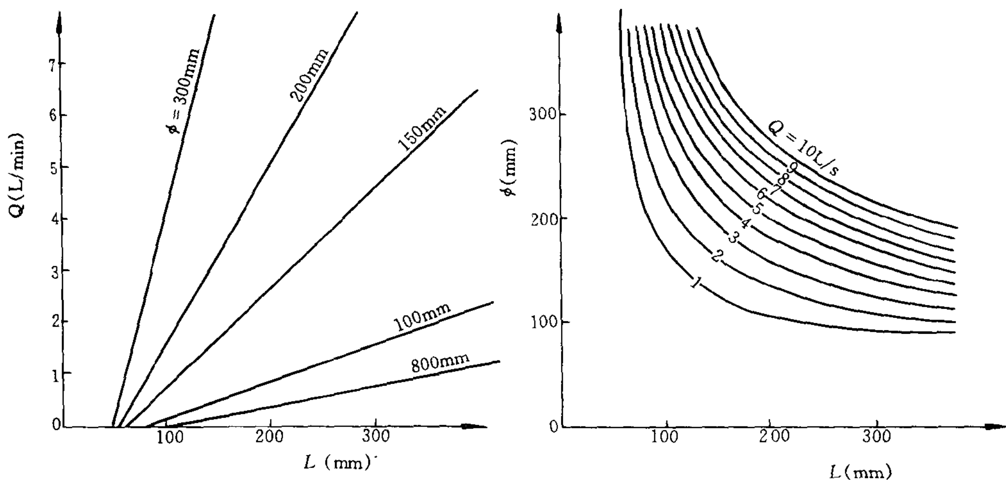


图 10－29　连续测量时流量标定图版

$$L = f(h) \rightarrow Q(h)$$

①在转换顺序上应先从较长的井径规整段着手。因为标定图版是从较长的规整管中标定出来的，那些规整段长度不足 1m 的井径变化复杂段的转换，容易发生较大误差。先将所有长度大于 1m 的井径规整段全部转换完毕，然后，以此来指导和修正井径变化较复杂段的转换，才能使全部转换工作顺利进行。

②转换成的 Q（h）曲线必须完全符合前述 Q（h）曲线的各项规律，否则应即时查明原因和予以修正。

有了 Q（h）曲线，就可以进行含水层与隔水层的划分，确定各含水层的厚度及顶、底板的位，以及各含水层在抽（注）水试验时的涌（吸）水量。

对于稳定流抽水，还须作出各含水层的综合 Q（s）曲线图、每一含水层的 Q（s）

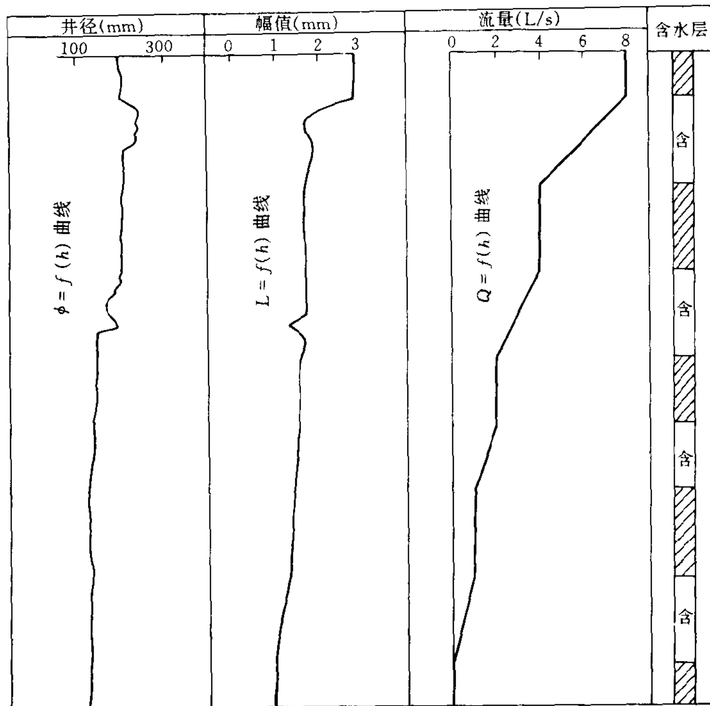


图 10-30 $L=f(h)$、$n=f(h)$与 $Q(h)$关系曲线

曲线图并解出每一含水的静止水位来。

其方法和步骤为：

①将各次水位降低的 $Q(h)$ 曲线绘制在一张图上（图 10-31*a*）。此图表明：钻孔中任一深度都有不同水位降深时的流量值，因此，任一深度都可以作出 $Q(s)$ 曲线。

绘制综合 $Q(s)$ 曲线图（图 10-31*b*）。设钻孔共揭露几个含水层，由下而上编号为 1、2、3、……$n-1$、n 。从 1 层的顶板开始，绘制逐层顶板 $Q(s)$ 曲线。显然，1 层顶板的 $Q(s)$ 曲线，乃含水层 1 单层的 $Q(s)$ 曲线，以Ⅰ表之；2 层顶板的 $Q(s)$ 曲线，应为 1、2 两个含水层的混合 $Q(s)$ 曲线，以Ⅰ+Ⅱ表之；3层顶板的 $Q(s)$ 曲线，为 1、2、3 三个含水层的混合 $Q(s)$ 曲线，以Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ 表之；……；n 层顶板的 $Q(s)$ 曲线，即 n 个含水层混合（全孔混合） $Q(s)$ 曲线，以Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ+…+N 表之。此图我们称之为综合 $Q(s)$ 曲线图。

②解出各含水层单层静止水位及 $Q(s)$ 曲线。上面已经提到：曲线Ⅰ即为含水层 1 的 $Q(s)$ 曲线，它与 s 轴的交点 a 的水位高程即为 1 的静止水位。根据前述混合 $Q(s)$ 曲线与分层 $Q(s)$ 曲线的关系原理可知：Ⅰ与Ⅰ+Ⅱ必相交于 1 点 b，此点的水位高程必等于含水层 2 的静止水位；Ⅰ与Ⅰ+Ⅱ的流量之差必等于含水层 2 的流量。由此可得含水层 2的 $Q(s)$ 曲线Ⅱ。Ⅰ+Ⅱ 与Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ必相交于一点 c，此点的水位高程必等于含水层 3 的静止水位；二者的流量差必等于含水层 3 的流量。由此可得含水层 3 的 $Q(s)$ Ⅲ。……Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ+……+（N-1）与Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ…+N的交点的水位高程必等含

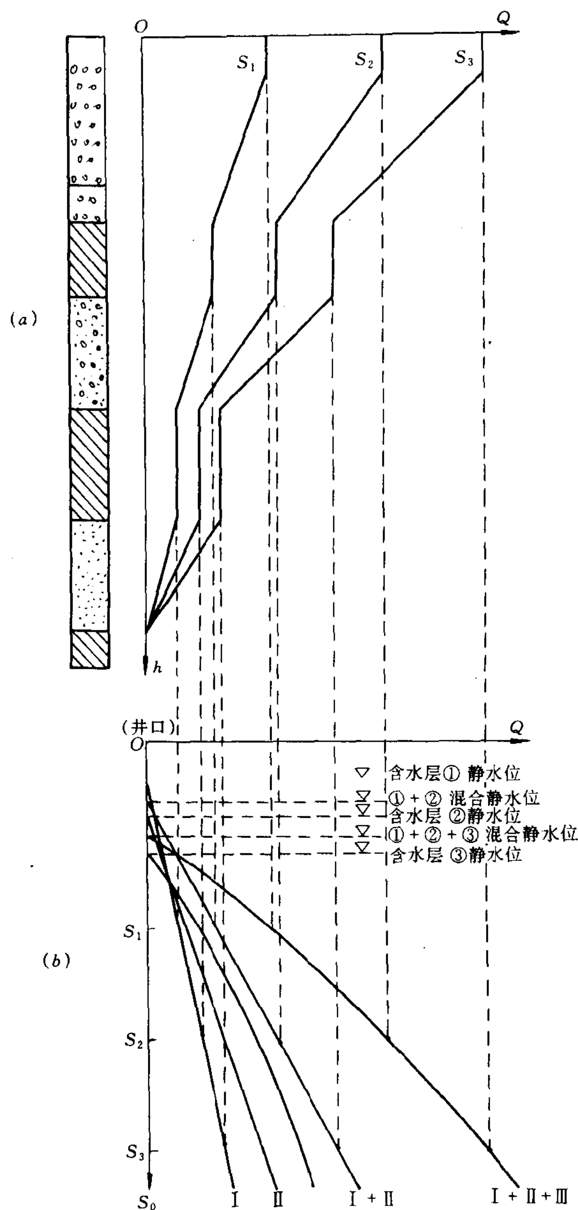


图 10-31 不同降深情况下的 Q（h)曲线及综合 Q（s)曲线图

水层 n 的静止水位；二者的流量差必等于含水层 n 的流量。由此可得含水层 n 的 Q（s）曲线。至此，各含水层的静止水位及 Q（s）曲线都已得出，已可进行各含水层的参数计算了。

对于非稳定流抽水，由于是定流量，故只能有一条 Q（s）曲线。在 Q（h）曲线上同样可以划分含水层与隔水层和确定含水层厚度及顶、底板位置，并用下式求得各含水层的流量：

$$Q_i = Q_{i顶} - Q_{i底}$$

式中　Q_i ——任一含水层 i 的流量；

$Q_{i顶}$——含水层 i 的顶板纵向水流流量；

$Q_{i底}$——含水层 i 的底板纵向水流流量。

含水层 i 的水位降深 s_i 可分为 s_{oi}、$s_{混}$两部分。即

$$s_i = s_{混} \pm s_{oi} \tag{10-11}$$

s_{oi}是指静止水位与混合静止水位之差。这部分降深（或抬高）在抽水以前井中保持混合静止水位时即已存在；并且形成了涌（吸）水量 Q_{oi}。

在开始抽水后新形成的降深是 $s_{混}$，与 i 相应的涌水量是 $Q_i \pm Q_{oi}$。

因此，开始抽水以后，反映含水层 i 水位与流量关系的应是

$$s_{混} = \frac{Q_i \pm Q_{oi}}{4\pi_i} W\left(\frac{r^2 S_i}{4T_i t_{混}}\right) \tag{10-12}$$

当$\frac{r^2 S_i}{4T_i t_{混}} < 0.01$时，可近似表示为

$$s_{混} = \frac{Q_i \pm Q_{oi}}{4\pi T_i} \ln \frac{2.25 T_i t_{混}}{r^2 S_i} \tag{10-13}$$

式中　T_i ——含水层 i 的导水系数；

S_i ——含水层 i 的贮水系数；

$t_{混}$ ——混合抽水的延续时间。

至于在抽水以前即已产生的那部分水位降深（或抬高） s_{oi}和相应的涌（吸）水量 Q_{oi}，如果水位保持恒定，可视为定降深的抽（注）水，用下式表示：

$$s_{oi} = \frac{Q_{oi}}{2\pi T_i W\left(\frac{T_i t}{r^2 S_i}\right)} \tag{10-14}$$

式中　Q_{oi}是一个变量，随着时间 t 的延长而衰减，最后趋于稳定。到进行混合抽（注）水时，距井孔揭露各含水层，地下水发生混合已有相当长时间，已可视为稳定，故在式（10－12）及式（10－13）中均将 Q_{oi}视为常量，并使用了定流量的公式。

如果需要分支计算各含水层的静止水位，可用下法求得 s_{oi}。

设在抽（注）水前，混合水位静止时，在 t_2时间先后测得含水层 i 的涌（吸）水量为 Q_{01}和 Q_{02}，t_1 与 t_2 相差的时间为 Δt，则从式（10－14）得

$$\frac{Q_{01}}{Q_{02}} = \frac{W\left(\frac{Tt_1}{r^2 S}\right)}{W\left[\frac{T(t_1 + \Delta t)}{r^2 S}\right]} \tag{10-15}$$

当$\frac{Tt_1}{r^2 S} > 500$时，上式可改写为

$$\frac{Q_{01}}{Q_{02}} = \frac{\ln \frac{2.25T(t_1 + \Delta t)}{r^2 S}}{\ln \frac{2.25Tt_1}{r^2 S}} \tag{10-16}$$

在式（10－5）及式（10－16）中，$\frac{Q_{01}}{Q_{02}}$是个已知量，T、S 可用式（10－12）或式（10－13）求得，唯有时间 t_1 是一个未知数，故可先用如下试算图解法求得 t_1（图 10－32），然后代入式（10－14）求出 s_{oi}。再用式（10－11）求得 s_i。

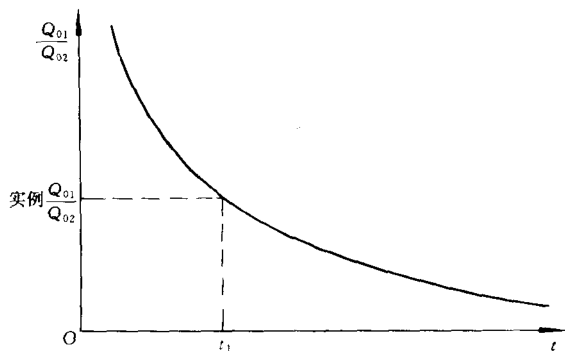


图 10－32　图解法求解 t_1

当$\frac{Q_{01}}{Q_{02}}=1$，且 Δt 时间较长时，表明此含水层的流量和水位均已稳定，符合于稳定流规律。此时可用稳定流公式求得 s_{oi}。即

$$s_{oi}=\frac{Q_{oi}}{2\pi KM}\ln\frac{R}{r} \qquad (10-17)$$

第四节　非定水位补给边界及弱透水边界
——任意透水强度的直线边界

水文地质边界条件是任何水文地质勘探与计算所必须查明解决的重要问题，也是煤田水文地质勘探所必须查明和解决的重要问题。然而到目前为止，除了定水位补给及隔水这两种极限情况的边界条件外，其它常见的非定水位补给或弱透水边界条件下的计算，尚无合理的公式可采用。在以往计算中，通常是将非定水位补给边界概化成定水位补给边界，弱透水边界简化为隔水边界，这样处理后所获得的计算结果难免与实际相差很大，甚至导致错误的结论或严重的后果。

为了能全面合理地解决水文地质边界条件下的计算问题，本节笔者将提供一种能描述任意补给强度及透水程度的新井流公式(直线边界附近)。已有的定水位补给及隔水边界条件下的井流公式，只是新井流公式在两个极限条件下的特例。

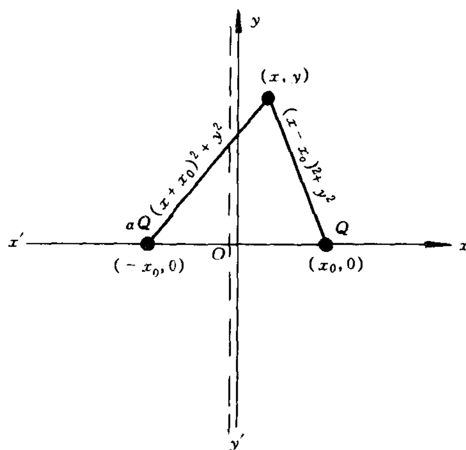


图 10－33　实井与虚井对应图

一、直线边界附近井流流场研究

设在某一直线边界内、外两侧，分布有水文地质参数分别为 T_1、S_1 及 T_2、S_2 两种不同渗透性能的含水层。当边界一侧有流量为 Q 的抽水井时，边界两侧必将出现彼此差异的流场，下面我们就来研究这个流场的变化规律。

（一）抽水井一侧流场研究

以边界线为 y 轴，设抽水井位于（x_0, 0）处。

如果将边界另一侧（$x<0$）含水层的水文质参数 T_2、S_2，以 T_1、S_1 代之，使其渗透性能与抽水井一侧含水层相同，并设在（$-x_0$，0）处有一流量为 αQ 的虚井（图 10－33）。此时，流场中任一点的水位降深，根据势的迭加原理，应为

$$s_1(x,y)=\frac{Q}{4\pi T_1}W(u_{抽})+\frac{\alpha Q}{4\pi T_1}W(u_{虚})$$

当 $u<0.01$ 时，上式可近似写为

$$s(x,y)=\frac{Q}{4\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{[(x-x_0)^2]S_1}+\frac{\alpha Q}{4\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{[(x+x_0)^2+y^2]S_1}\quad(x\geqslant 0)\tag{10-18}$$

由上式可知，随着虚井流量 αQ 的不同，实井一侧流场必将产生如下规律。

（1）当 $\alpha=1$ 时实井流量与虚井流量相等，边界上（$x=0$）将没有流线通过（图 10－34），式(10－18）亦转化为隔水边界条件下的井流公式，在边界上有

$$s_1(0,y)=\frac{Q}{2\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{(x_0^2+y^2)S_1}$$

（2）当 $0<\alpha<1$ 时，虚井流量小于实井流量，边界上将会有少量的流线通过至实井一侧（图 10－35），此时的边界条件即为弱透水边界，将 α 值代入式（10－18）便可求解弱透水边界条件下的井流问题。

（3）当 $\alpha=0$ 时，虚井流量等于零，边界作用消失，式（10－18）即转化为在平面上无限扩展的均质含水层中的单井井流公式。

$$s_1(x,y)=\frac{Q}{4\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{[(x-x_0)^2+y^2]S_1}$$

（4）当 $-1<\alpha<0$ 时，虚井变为注水井，其注水量小于实井抽水量，虽然此时有较多流线通过边界至实井一侧，但由于虚井的注水量比实井抽水量小，故边界上将会出现水位降低而不能保持定水位（图 10－36），此时的边界即为非定水位补给边界；将 α 值代入式（10－18）式亦可求解非定水位补给边界条件下的井流问题。

（5）当 $\alpha=-1$ 时，虚井的注水量与实井抽水量相等，边界上将会有大量的流线通过至实井一侧，以满足实井抽水的需要（图 10－37），因此边界上水位将保持不变，即 s_1（0，y）＝0。此时式（10－18）则转化为定水位补给边界条件下的井流公式

$$s_1(x,y)=\frac{Q}{4\pi T_1}\ln\frac{(x+x_0)^2+y^2}{(x-x_0)^2+y^2}$$

（二）边界外侧($x<0$）流场研究

边界外侧流场完全是由边界内侧实井抽水造成的。如果将实井一侧含水层水文地质参数 T_1、S_1 换成 T_2、S_2，使之成为与边界外侧渗透性能相同及在平面上无限扩展的均质含水层。为了保持边界外侧的流场不变，实井一侧抽水井流量必须由 Q 变为 βQ，则此时边界外侧任一点的水位降深应为

$$s_2(x,y)=\frac{\beta Q}{4\pi T_2}\ln\frac{2.25T_2t}{[(x-x_0)^2+y^2]S_2}\quad(x\leqslant 0)\tag{10-19}$$

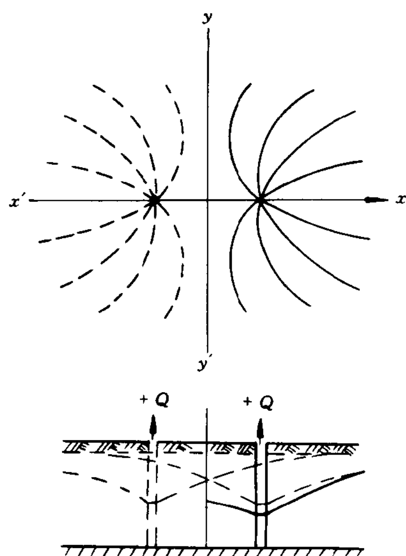


图 10－34　实井抽水时直线隔水边界两侧地下水运动流线

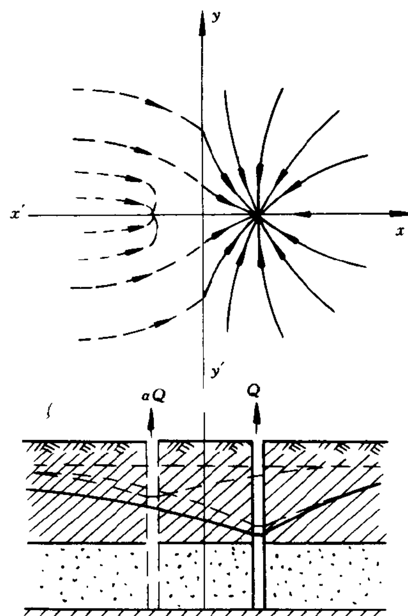


图 10－35　实井抽水时直线弱透水补给边界两侧地下水运动流线

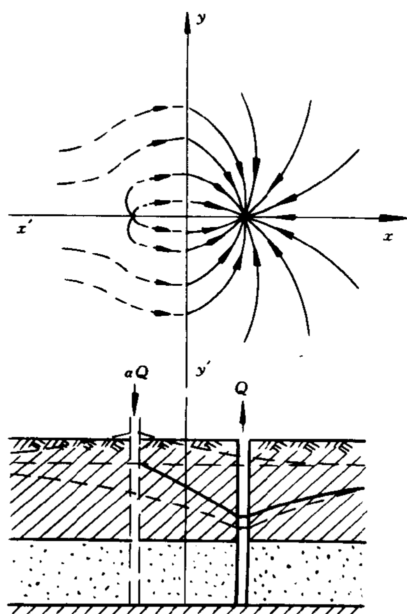


图 10－36　实井抽水时直线非定水位补给边界两侧地下水运动流线

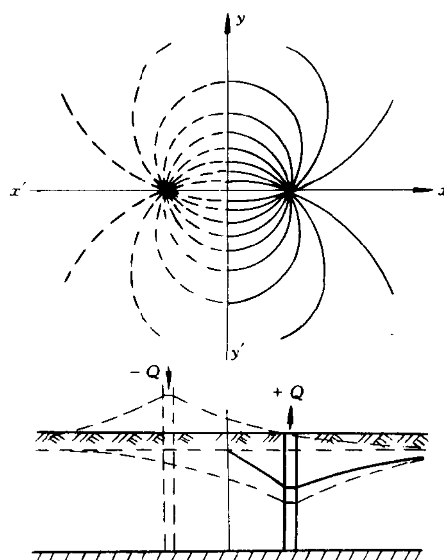


图 10－37　实井抽水时直线定水位补给边界两侧地下水运动流线

（三）求解 α、β

边界两侧流场，现虽已可分别用式（10－18）与式（10－19）描述，但式中 α 与 β 其意义尚不清楚，仍需进一步研究。

根据水流连续原理，在边界（$x=0$）上有 $s_1=s_2$，故由式(10－18）及式（10－19）可得

$$\frac{Q}{4\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{(x_0^2+y^2)S_1}+\frac{\alpha Q}{4\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{(x_0^2+y^2)S_1}=\frac{\beta Q}{4\pi T_2}\ln\frac{2.25T_2t}{(x_0^2+y^2)S_2}$$

化简得

$$\frac{1+\alpha}{T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{(x_0^2+y^2)S_1}=\frac{\beta}{T_2}\ln\frac{2.25T_2t}{(x_0^2+y^2)S_2} \qquad (10-20)$$

当抽水时间由 t 变为 t' 时，降深也将由 s 变为 s'。在边界上既有 $s_1=s_2$，也必有 $s'_1-s_1=s'_2-s_2$，故得

$$(1+\alpha)\frac{Q}{4\pi T_1}\ln\frac{t'}{t}=\beta\frac{Q}{4\pi T_2}\ln\frac{t'}{t}$$

则

$$\beta=(1+\alpha)\frac{T_2}{T_1}$$

同理，根据水流连续原理，在边界上还必有

$$T_1\frac{\partial s_1}{\partial x}=T_2\frac{\partial s_2}{\partial x}$$

由式（10－18）

$$T_1\frac{\partial s_1}{\partial x}=\left\{-\frac{Q}{4\pi}\left[\frac{2(x-x_0)}{(x-x_0)^2+y^2}\right]-\frac{\alpha Q}{4\pi}\left[\frac{2(x+x_0)}{(x+x_0)^2+y^2}\right]\right\}\Bigg|_{x=0}$$

$$=\frac{Q}{4\pi}\left(\frac{2x_0}{x_0^2+y^2}\right)(1-\alpha)$$

由式（10－19）

$$T_2\frac{\partial s_2}{\partial x}=-\frac{\beta Q}{4\pi}\left[\frac{2(x-x_0)}{(x-x_0)^2+y^2}\right]\Bigg|_{x=0}=\frac{\beta Q}{4\pi}\left(\frac{2x_0}{x_0^2+y^2}\right)$$

故

$$\frac{Q}{4\pi}\left(\frac{2x_0}{x_0^2+y^2}\right)(1-\alpha)=\frac{\beta Q}{4\pi}\left(\frac{2x_0}{x_0^2+y^2}\right)$$

则

$$1-\alpha=\beta$$

代入 β 中

$$\alpha=\frac{T_1-T_2}{T_1+T_2}$$

即

$$\beta=\frac{2T_2}{T_1+T_2}$$

将解出的 α、β 分别代入式（10－18）及式（10－19），得

$$s_1(x,y)=\frac{Q}{4\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{[(x-x_0)^2+y^2]S_1}$$

$$+\left(\frac{T_1-T_2}{T_1+T_2}\right)\frac{Q}{4\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{[(x+x_0)^2+y^2]S_1} \quad (x\geqslant 0)$$

$$(10-21)$$

$$s_2(x,y)=\frac{Q}{2\pi(T_1+T_2)}\ln\frac{2.25T_2t}{[(x-x_0)^2+y^2]S_2} \quad (x\leqslant 0) \quad (10-22)$$

式（10－21）及式（10－22）即为描述直线边界两侧任意补给强度及透水程度的新井流公式。

显然，在有边界存在的条件下，含水层内任一点的水位降深，表现为实井与虚井势的迭加，而虚井的势又与边界两侧含水层渗透性能的相对比值有关，不同的比值可以得到不同的 α 与 β，从而反映出不同的边界条件。

当 $T_2\to\infty$ 时，$\alpha=-1$，新公式亦转化为定水位补给边界条件下的井流公式；

当 $T_2\to 0$ 时，$\alpha=1$，新公式即转化为隔水边界条件下的井流公式；

当 $T_2=T_1$ 时，$\alpha=0$，新公式则变为无限扩展的均质含水层中的单井公式。

可见，新公式确实是求解直线边界附近含水层中井流问题的通式，已有的定水位补给、隔水及无限扩展情况下的井流公式，只不过是新公式中的 3个特解。

二、$s-\lg t$ 曲线及求参

（一）$s-\lg t$ 曲线斜率变化与边界性质之关系

由式（10－18）或式（10－21）可知，当边界内侧抽水井已开始抽水，观测孔中 u 已小于 0.01，但边界影响尚未到达观测孔以前，公式中 $\alpha=0$，此时观测孔中的水位降低应符合下式

$$s_{1观}=\frac{Q}{4\pi T_1}\ln\frac{2.25T_1t}{[(x_{观}-x_0)^2+y^2]S_1}$$

其 $s-\lg t$ 曲线在单对数纸上应为一条直线，其斜率为

$$i_1=0.183\frac{Q}{T_1}$$

当抽水继续进行，边界影响到达观测孔后，式（10－18）或式（10－21）中的 $\alpha\neq 0$ $s-\lg t$ 曲线在半对数纸上将出现第二直线段，其斜率为

$$i_2=0.183\frac{Q}{T_1}(1+\alpha)=i_1+\alpha i_1$$

由此可知，i_1 是一迭加斜率，即实井抽水影响的斜率 i_1 与虚井影响的斜率 αi_1 之和。因此，i_2 的大小与边界的性质及边界两侧含水层渗透性能的相对大小密切相关（图 10－38）.

当 $i_2=0$ 时，$s-\lg t$ 曲线的第二直线段为一水平直线，反映的边界性质为定水位补给边界。

当 $i_2=2i_1$ 时，$s-\lg t$ 曲线第二直线段的斜率是第一直线段斜率的两倍，反映的边界性质为隔水边界。

当 $i_2=i_1=i$ 时，$s-\lg t$ 曲线为一斜率不变的直线，说明无边界影响，含水层无限扩展。

当 $0<i_2<i_1$ 时，$s-\lg t$ 曲线第二直线段介于第一直线段与水平线之间，反映的边界性质为非定水位补给边界。

当 $i_1<i_2<2i_1$ 时，$s-\lg t$ 曲线第二直线段介于第一直线段与隔水边界直线段之间，反映的边界性质为弱透水补给边界。

总之，随着边界两侧含水层导水系数 T_1 及 T_2 相对大小的不同，α 可以是介于 1 与 -1之间的任何数值，$s-\lg t$ 曲线第二直线段斜率可以是从 0 到 $2i_1$ 的任何数值，代表的边界性质可以从定水位补给边界一非定水位补给边界一无限边界一弱透水边界一隔水边界的全部变化情况。

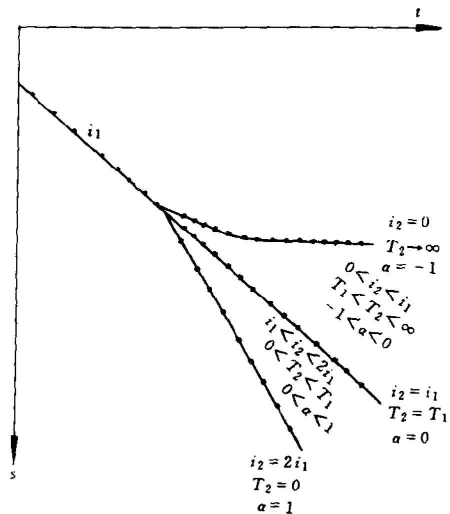


图10－38　$s-\lg t$ 曲线斜率变化与边界性质关系

（二）求解边界两侧含水层水文地质参数

由式(10－18)或式(10－21)，$\alpha=0$ 时知，$i_1=0.183Q/T_1$.

则
$$T_1=\frac{0.183Q}{i_1}$$

$$S_1=\frac{2.25T_1t}{(x-x_0)^2+y^2}$$

由式(10－18)或式(10－21)，$\alpha\neq0$ 时知，$i_2=0.183Q\ (1+\alpha)\ T_1$.

则
$$T_2=\left(\frac{2i_1}{i_2}-1\right)T_1$$

将解出的 T_1、S_1、T_2 值代人（10－20）式中，

得
$$S_2=\left(\frac{2i_1}{i_2}-1\right)S_1$$

显然，只要我们已知 i_2，就能很方便地得出 T_2、S_2，下面将 i_2 变化区间（$0\sim2i_1$）对应的 T_2、S_2 列表（表 10－1）。

当边界外侧有观测孔时，则可直接利用其观测资料，根据式（10－22）及式（10－20）求解 T_2、S_2。

如果不需了解边界外侧的流场情况，也可不必去解 T_2、S_2，只需根据斜率 $i_2=i_1+\alpha_{i_1}$ 解出 α，代入(10－18)式，便可求解抽水井一侧含水层中的井流问题。

三、计算实例

某矿区水文地质勘察的目的层是石炭系太原组灰岩（C_3），而 C_3 灰岩在西部通过一区域性断层与中奥陶灰岩（O_2）发生了对接，为查明矿区内 C_3 灰岩的水文地质特征及断层外 O_2 灰岩的补给能力，在矿区内 C_3 灰岩中进行了抽水试验。抽水孔坐标（200，0）；抽水流量 $Q=126m^3/h$；观测孔坐标（2000，1000）。

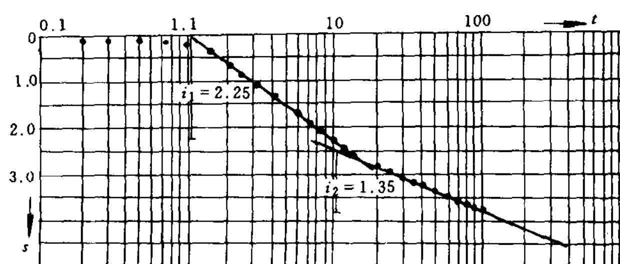


图 10－39　$s-\lg t$　直线图解法

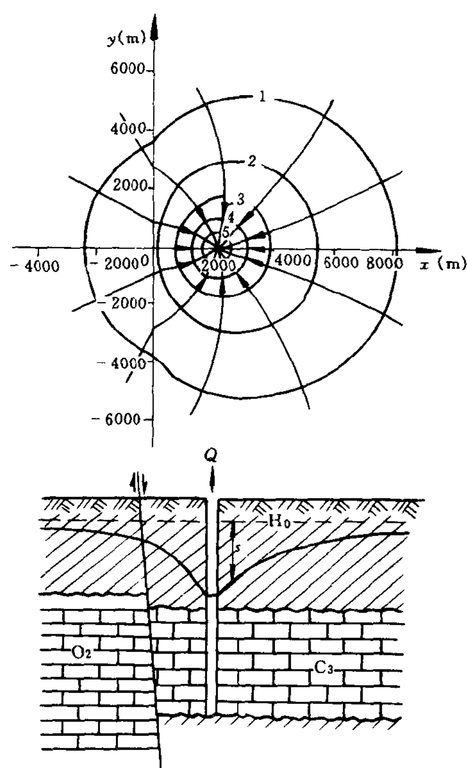


图10－40　某矿区断层两侧降深流场图

根据观测孔观测资料在半对数纸上作 $s-\lg t$ 曲线，得到两个直线段斜率： $i_1=2.25$，$i_2=1.35$（图 10－39）。

当 $t=100\text{h}$ 时，根据上述水文地质参数求解方法，解得

$T_1=10.25\text{m}^2/\text{h}$，$S_1=2.3\times10^{-5}$，$T_2=23.92\text{m}^2/\text{h}$，$S_2=5.4\times10^{-5}$。

将解出的 T_1、S_1、T_2、S_2 分别代入式（10－21）、式（10－22），便可求得边界两侧任意时刻的降深流场，图 10－40 是 $t=100\text{h}$ 时边界两侧的流场情况。

表10-1 i_2与T_2、S_2之关系表

i_2	T_2	S_2	i_2	T_2	S_2
0	∞				
$0.1i_1$	$19.000T_1$	$19.000S_1$	$1.1i_1$	$0.818T_1$	$0.818S_1$
$0.2i_1$	$9.000T_1$	$9.000S_1$	$1.2i_1$	$0.667T_1$	$0.667S_1$
$0.3i_1$	$5.000T_1$	$5.000S_1$	$1.3i_1$	$0.538T_1$	$0.538S_1$
$0.4i_1$	$4.000T_1$	$4.000S_1$	$1.4i_1$	$0.429T_1$	$0.429S_1$
$0.5i_1$	$3.000T_1$	$3.000S_1$	$1.5i_1$	$0.333T_1$	$0.333S_1$
$0.6i_1$	$2.333T_1$	$2.333S_1$	$1.6i_1$	$0.250T_1$	$0.250S_1$
$0.7i_1$	$1.857T_1$	$1.857S_1$	$1.7i_1$	$0.176T_1$	$0.176S_1$
$0.8i_1$	$1.500T_1$	$1.500S_1$	$1.8i_1$	$0.111T_1$	$0.111S_1$
$0.9i_1$	$1.222T_1$	$1.222S_1$	$1.9i_1$	$0.053T_1$	$0.053S_1$
$1.0i_1$	$1.000T_1$	$1.000S_1$	$2.0i_1$	0	0

主要参考文献

1 韩德馨，杨起．中国煤田地质学．北京：煤炭工业出版社，1980

2 于双忠．煤矿工程地质研究．徐州：中国矿业大学出版社，1991

3 中科院地质所地热室．矿山地热概论．北京：煤炭工业出版社，1981

4 ［美］H. 布拉格，G.V. 米德顿，R.C. 穆雷．沉积岩成因．北京：地质出版社，1978

5 葛亮涛，顾谦隆，高洪烈．多含水层混合井流理论及流量测井法．北京：地质出版社，1984

6 高洪烈．水文地质．北京：煤炭工业出版社，1986

7 地矿部矿山水文地质工程地质回访调查组．岩溶充水矿山回访报告选辑．北京：地质出版社，1986

8 煤炭部地质局全国煤田水文地质工作经验交流会论文选编．北京：地质出版社，1987

9 冶金工业部，石油工业部，化学工业部，煤炭工业部，国家地质总局综合治理地下水办公室．综合治理和利用矿床大面积地下水经验汇编．北京：煤炭工业出版社，1979

10 沈理．水文地质学．北京：科学出版社，1982

11 沈尔英．煤、油页岩水文地质工作方法．北京：地质出版社，1958

12 杨思德．开采方法与通风．北京：煤炭工业出版社，1983

13 国家技术监督局．矿区水文地质工程地质勘探规范．北京：中国标准出版社，1991

14 煤炭科学研究总院北京开采研究所．煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用．北京：煤炭工业出版社，1981

15 葛亮涛．多含水层混合抽水试验分层计算方法的探讨．水文地质工程地质，1957（9）

16 葛亮涛．再论混合抽水试验．水文地质工程地质，1959（12）

17 煤炭工作组、淄博矿务局．淄博煤矿底板突水的基本规律．煤田地质与勘探，1967（4）

18 高洪烈．简论矿区地热场及其区域特点．煤田地质与勘探，1986（3）

19 马培智．范各庄井田奥灰水 NO_3 离子形成机理及在水源判别中的应用．煤田地质与勘探，1998（1）

20 叶贵钧，“论中国岩溶充水煤矿区特征和排供结合”，煤田地质与勘探，1984（4）

21 易绍亚，“平顶山矿区矿井岩溶水资源及应用”，水资源与环境地质，1985（5）

22 陈学敏．贵州晚二叠世含煤地层沉积特征及其成煤规律的探讨．煤田地质与勘探，1982（5）

23 葛亮涛．中国煤田水文地质基本特征与规律．中国煤田地质，1996．增刊

24 王鸿祯．中国古地理图．北京：地图出版社，1985

25 葛亮涛，高洪烈．对非稳定流与稳定流抽水试验的关系及应用的一些看法．煤田地质与勘探，1982（1）

26 葛晓云．任意补给强度边界附近单井非稳定流公式．水文地质工程地质，1991（3）

27 高洪烈．煤矿床开发的环境地质条件和环境效应．中国矿业，1993（5）

28 高洪烈．煤田水文地质工程地质工作进展．煤田地质与勘探，1990（5）

29 高洪烈．物探、化探在我国煤矿床水文地质工作中的应用概况，煤田地质经济技术研究，1988（2）

30 高洪烈．弱含水层隔水层在矿区排供水中的合理利用．煤田地质与勘探，1995（5）

31 高洪烈．浅谈岩溶发育深度及深部岩溶形成因素煤田水文地质勘探，1990（8）

32 高洪烈．隐伏煤田区煤层露头煤柱的留设条件研究．中国煤田地质，1993（4）

33 高洪烈．减少两淮矿区煤层露头煤柱尺寸可能性的探讨．中国煤田地质，1989（4）

34 高洪烈，林曾平我国煤矿床水文地质区域特征概论．煤田地质与勘探，1986（6）

35 高洪烈．论扩散溶蚀和凝结溶蚀在岩溶发育过程中的重要意义．水文地质工程地质，1986（4）

前　　言

我国是一个煤炭资源大国，煤炭资源量居世界前列；也是一个产煤大国，煤炭产量居世界第一；同时，我国也是一个以煤炭为最主要能源的国家，而且此种格局在很长时间内不会有明显的变化。煤炭工业在我国的国民经济和人民生活中一直占有相当重要的地位，煤炭工业的健康持续发展是我国国民经济可持续发展的必要保证。

我国煤矿开发历史悠久，地域广阔，水文地质条件多种多样，有许多水文地质条件复杂的矿井。矿井水害是我国煤矿开采中经常出现的重要地质灾害，常常是制约矿井生产和效益的重要因素，也一直是煤田地质、矿井设计，基建和生产单位所共同关心的问题。在我国煤田勘探中，始终对矿床水文地质条件十分重视，作为煤田地质工作的基本内容，历年来投入工作量之多，研究程度之深，研究领域之广，实为世界各国煤矿床勘探和开发中所罕见，所积累的大量的第一手资料和丰富的工作经验，为编写《中国煤田水文地质学》奠定了扎实的基础。总结、提炼煤田水文地质工作经验，总结煤田水文地质规律，无疑对于指导今后煤田水文地质勘探工作，提高煤矿防治水工作的经济技术效益，以及向世界各国交流，均有积极意义。

《中国煤田水文地质学》是煤炭工业出版社的重点图书。该书初稿完成后，由煤炭工业出版社组织，于 1993 年 10 月在邯郸召开了审稿会，参加审稿会议的有中科院院士贾福海、地矿部地质环境司原总工程师辛奎德以及王子和、林曾平、夏镛华等专家、教授十多人。会议对书稿进行了认真地审议，提出了许多极为宝贵的修改意见，提高了书稿的质量。

全书共分十章。其中，葛亮涛编写了第一章中国煤田水文地质概论；第五章煤矿顶板水害的研究与防治；第六章煤矿底板突水的预测与防治；第十章煤田水文地质勘探的若干问题（其中，葛晓云编写了第十章第四节）。叶贵钧编写了第二章控制中国煤田水文地质条件的基本因素；第八章中国煤田水文地质条件分类。高洪烈编写了绪论；第三章煤矿床充水特征；第四章煤田地下水的水化学特征；第七章煤矿热害和煤田地下热水；第九章煤矿环境地质问题。由葛亮涛提供全书框架设计及章节提纲，并进行最后修改和定稿。

本书资料翔实，内容丰富，许多来自于煤田地质系统的各类地质报告、中间资料及科研成果，这些资料对于本书的完成是至关重要的。我们对广大煤田水文地质工作者的辛勤劳动表示赞赏，同时感谢他们对本书的支持与贡献。由于本书成书周期较长，所列举的参考文献中亦可能有疏漏之处，敬请见谅。

本书的编写，得到中国煤田地质总局领导和有关处室的支持、关心和爱护，在此谨向他们表示衷心感谢。